

10/507274
507274
Rec'd T/PTO 08 SEP 2004

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年7月29日 (29.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/064388 A1

(51) 国際特許分類⁷:

H04N 5/20

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2003/015758

(22) 国際出願日:

2003年12月10日 (10.12.2003)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願2003-3134
特願2003-3135

2003年1月9日 (09.01.2003) JP
2003年1月9日 (09.01.2003) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 光永知生 (MITSUNAGA, Tomoo) [JP/JP]; 〒141-0022 東京都品川区東五反田1丁目14番10号 株式会社ソニー木原研究所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 稲本義雄 (INAMOTO, Yoshio); 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7丁目11番18号711ビルディング4階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(国内): CN, KR, US.

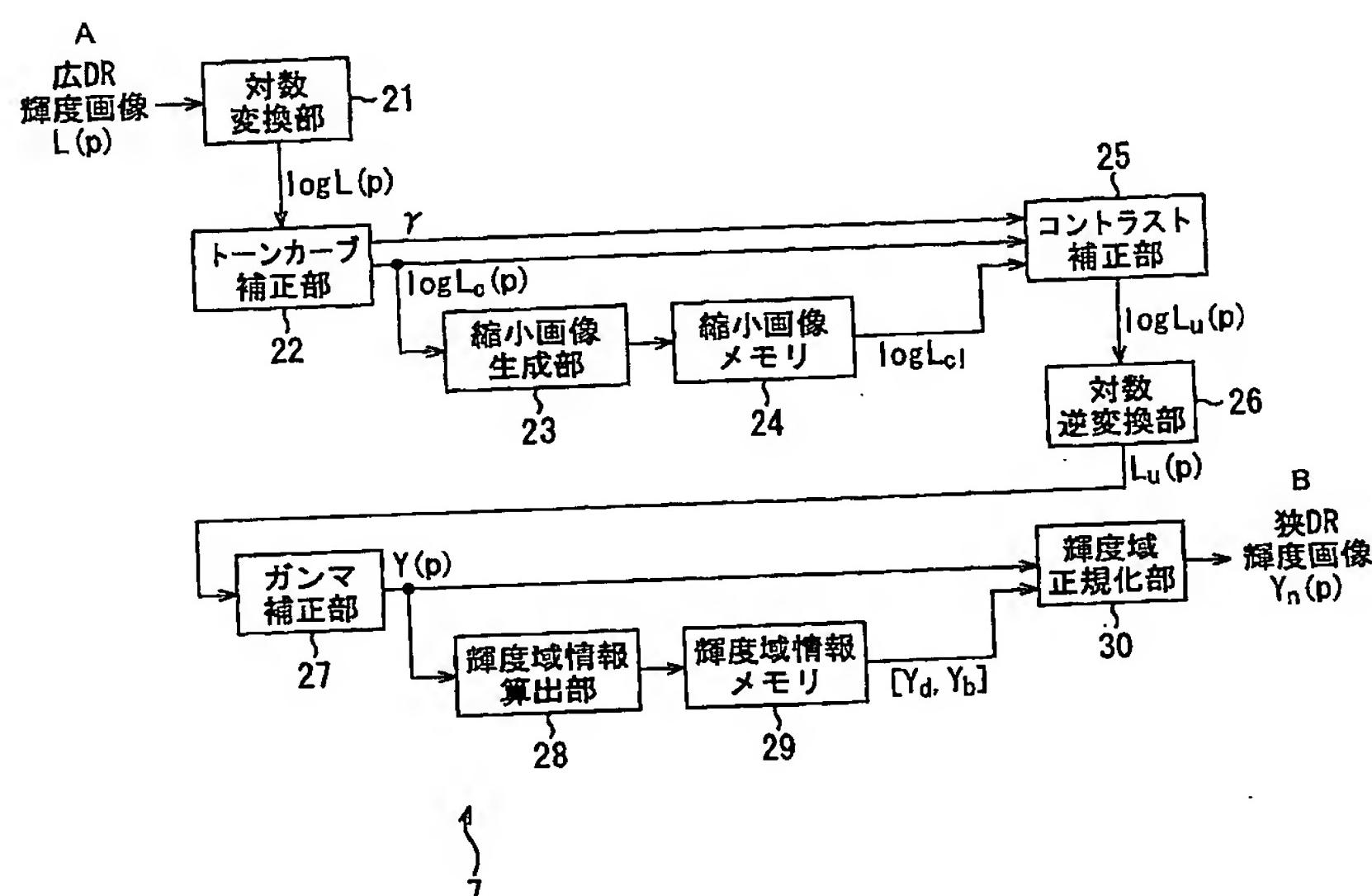
(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: IMAGE PROCESSING DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 画像処理装置および方法



- A...WIDE DR LUMINANCE IMAGE L (p)
21...LOGARITHM CONVERSION SECTION
22...TONE CURVE CORRECTION SECTION
23...CONTRACTED IMAGE GENERATION SECTION
24...CONTRACTED IMAGE MEMORY
25...CONTRAST CORRECTION SECTION
26...LOGARITHM INVERSE CONVERSION SECTION
27...GAMMA CORRECTION SECTION
28...LUMINANCE RANGE INFORMATION CALCULATION SECTION
29...LUMINANCE RANGE INFORMATION MEMORY
30...LUMINANCE RANGE NORMALIZATION SECTION
B...NARROW DR LUMINANCE IMAGE Yn(p)

(57) Abstract: An image processing device and method which can preferably be used when converting a wide dynamic range image having a pixel value dynamic range wider than normal into a narrow dynamic range image having a narrower pixel value dynamic range and emphasizing a contrast. In step S1, a wide DR luminance image of the current frame input is converted into a narrow DR luminance image according to intermediate information calculated for the wide DR luminance image of a frame preceding by one. Moreover, intermediate information for the wide DR luminance image of the current frame is calculated. In step S2, the intermediate information on a held frame preceding by one is updated by using the calculated intermediate information. In step S3, presence of a subsequent frame is judged. If a subsequent frame is present, control is returned to step S1 and its processing and after are repeated. The present invention can be applied to a digital video camera and the like.

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/064388 A1

[続葉有]



一 换正書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 本発明は、画素値のダイナミックレンジが通常よりも広い広ダイナミックレンジ画像を、画素値のダイナミックレンジがより狭い狭ダイナミックレンジ画像に変換したり、コントラストを強調したりする場合に用いて好適な画像処理装置および方法に関する。ステップS1において、入力された現フレームの広DR輝度画像が、1フレーム前の広DR輝度画像に対して算出された中間情報に基づいて狭DR輝度画像に変換される。また、現フレームの広DR輝度画像に対する中間情報が算出される。ステップS2において、算出した中間情報を用いて、保持していた1フレーム前の中間情報が更新される。ステップS3において、後続するフレームの存在が判定され、後続するフレームが存在する場合、ステップS1に戻り、それ以降の処理が繰り返される。本発明は、ディジタルビデオカメラ等に適用することができる。

明細書

画像処理装置および方法

技術分野

5 本発明は、画像処理装置および方法に関し、特に、画素値のダイナミックレンジが通常よりも広い広ダイナミックレンジ画像を、画素値のダイナミックレンジがより狭い狭ダイナミックレンジ画像に変換したり、コントラストを強調したりする場合に用いて好適な画像処理装置および方法に関する。

10 背景技術

従来、CCD(Charge Coupled Device)やCMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)等の固体撮像素子がビデオカメラやスチルカメラなどの撮像機器、FA(Factory Automation)における部品検査装置、ME(Medical Electronics)における電子内視鏡などの光計測装置等に幅広く利用されている。

15 近年、これらの固体撮像素子を用いて光学フィルム写真に匹敵するような画素値のダイナミックレンジが広い画像（以下、広DR画像と記述する）を得るための技術が多数提案されている。

一方、動画像や静止画像を表示するCRT(Cathode Ray Tube)、LCD(Liquid Crystal Display)等の表示装置、プロジェクタ等の投影装置、各種の印刷装置は、
20 現在においても、対応できる画素値のダイナミックレンジは広域化されておらず、対応可能な輝度階調に制限がある。このため、広DR画像を撮影したとしても、それをその状態で表示、投影あるいは印刷可能な装置が存在していないのが現状である。

そこで、当面においては、広DR画像の画素値のダイナミックレンジを狭めて、
25 換言すれば、輝度階調を圧縮して、表示装置などのダイナミックレンジに適応させた画像（以下、狭DR画像と記述する）を生成するための技術（以下、階調圧縮技術と記述する）が必要とされている。

ここで、従来において提案された階調圧縮技術について説明する。階調圧縮技術は、単純には、広DR画像の画素値の階調を、表示装置等が対応可能なより狭いダイナミックレンジの階調に合わせて再配分することにより実現される。

しかしながら、上述したように、単に、広DR画像の画素値の階調を、狭いダイナミックレンジに均等に階調を再配分しただけでは、画像全体の輝度変化が小さくなってしまい、コントラストが低下した見栄得が悪い画像に変換されてしまうことになる。そこで、従来、コントラスト低下を抑制することができる階調圧縮技術がいくつか提案されている。以下、従来提案されている3種類の階調圧縮技術について説明する。

第1の階調圧縮技術としては、入力する広DR画像の輝度のヒストグラムに基づき、階調の再配分規則を適応的に決定する（具体的には、階調変換曲線を、入力画像のヒストグラムを元に算出する）技術を挙げることができる。第1の階調圧縮技術は、画像中の重要な被写体が占める面積の比率は大きいことを前提として、ヒストグラムのピーク近辺の輝度値になるべく多くの階調を配分するように階調変換曲線を決定するようにし、少なくとも重要な被写体におけるコントラスト低下を抑制しようとするものである。

しかしながら、このような階調配分のみの工夫ではあらゆる状況で満足のいく結果を得ることは難しい。例えば、重要な被写体が画像中に複数存在する場合、背景が均一な輝度であって、かつ、比較的広い面積を占めている場合（例えば青空）などでは、しばしば被写体に十分な階調が配分されなくなることがある。

第2の階調圧縮技術としては、階調変換前または後のどちらか一方において画像中の高周波成分を強調する技術を挙げができる。第2の階調圧縮技術は、階調変換によって失われた（または階調変換によって失われると思われる）コントラストを画像から見積もり、その分をアンシャープマスキングなどの高周波強調フィルタを用いて補償するものである。

第2の階調圧縮技術は、第1の階調圧縮技術のように画像の構図に依存する問題は生じないという利点がある。しかしながら、高周波強調フィルタは被写体の

輪郭部分においてオーバーシュートを生じたり、平坦な部分においてノイズを強調したりするなどの問題があり、必ずしも良い画像が得られるとはいえない。

第3の階調変換技術としては、広DR画像を低周波成分画像と高周波成分画像に分離し、高周波成分画像はそのままに、低周波成分画像に対して適当な階調変換処理を施して、最後にそれらを1つの画像に加算合成する技術を挙げることができる。
5

第3の階調変換技術によれば、広DR画像の高周波成分はそのままであるので、階調変換によるコントラスト低下を防ぐことができる。しかしながら、第3の階調変換技術も、第2の階調変換技術と同様に、被写体の輪郭部分においてオーバーシュートを生じたり、平坦な部分においてノイズを強調したりするなどの問題があるので、低周波成分画像と高周波成分画像に分離する処理に非線形フィルタ（例えば、メディアンフィルタ）を用いることにより、この問題を解決する方法も提案されている。
10

上述した第1乃至第3の階調圧縮技術をまとめると、近傍の画素を利用する比較的局所的な処理で階調圧縮を行うもの（第1および第2の階調圧縮技術）と、画像全体または比較的大きな領域を使って階調圧縮を行うもの（第3の階調圧縮技術）に分けられる。前者によれば、ごく高周波成分のみが強調されたような不自然な画像となり、効果的な階調圧縮結果が得られるとは言い難い。また、後者によれば、高周波成分の強調にあわせて比較的低周波の成分も調整することができる分だけ、前者よりもより自然な画像が得られ、階調圧縮の効果は高いということができる。
15

しかしながら、後者によれば、その処理に、主にディレイラインまたはフレームメモリとして大量のメモリが必要となるので、ハードウェア化に適していないという問題があった。例えば、第3の階調圧縮技術は、輝度を複数の周波数成分に分離するときに空間フィルタが必要であるが、画像に対して比較的大きな空間フィルタを適用しなければ、人為的でない効果的な階調圧縮を施すことができないので、大きな空間フィルタを実装するために大量のディレイラインを回路に盛
20

り込む必要がある。

ところで、例えば、ディジタルビデオカメラやディジタルスチルカメラのような撮影装置の出力部に、広D R画像に階調圧縮処理を施す機能を組み込むことを考慮した場合、例えば、ディジタルビデオカメラでは、所定のフレームレートを保証して映像信号を出力しなければならぬので、高速な信号処理が必要となり、階調圧縮処理の機能をハードウェア化することの要請は高い。また、例えば、静止画を撮影するディジタルスチルカメラであっても、構図を決定するためにファインダにモニタ画像を所定のフレームレートで出力する必要があるので、階調圧縮処理が高速であることが望まれる。

以上のように、使用するメモリの容量がより小さく、演算も軽量でハードウェア化が容易であり、かつ、階調圧縮の効果が大きい階調圧縮技術が必要とされているが、従来そのような階調圧縮技術は提案されていない課題があった。

また、上述した第1乃至第3の階調圧縮技術に共通して以下の課題が存在する。

第1に、高周波成分を強調することに伴い、被写体の輪郭部分において輝度のオーバーシュートが生じることである。

これを抑止するためには、比較的大きいサイズ（ 20×20 画素）の2次元非線形フィルタが必要であるが、このようなサイズの2次元非線形フィルタをソフトウェアとして実現するには演算コストが非常に大きくなる課題があり、ハードウェアとして実現するためにはディレイラインを大量に必要とするため回路規模が大きくなってしまう課題があった。

第2に、高輝度域および低輝度域における高周波成分のコントラスト強調量の制御についてである。上述した第2および第3の階調圧縮技術では、輝度を低周波成分と高周波成分に分離して、低周波成分を比較的抑制し、高周波成分を強調することにより、コントラストを保持した階調圧縮を行うことが共通している。

しかしながら、表示装置などが許容する最大輝度と最小輝度の近辺では高周波成分を強調することによって輝度のクリッピングが生じて結果的に画像のディテールが失われ、適切な階調変換が行われたとはいえないで、輝度のクリッピ

ングが生じないような対処が必要である課題があった。

さらに、輝度のクリッピングが生じないような状態でも、コントラストの強調が強すぎれば、被写体の輪郭部分が不自然に強調された画像となってしまう課題があった。

5

発明の開示

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、使用するメモリの容量がより小さく、演算が少なくて、ハードウェア化が容易であり、かつ、階調圧縮の効果が大きい階調圧縮技術を実現することを目的とする。

10 また、使用するメモリの容量がより小さく、演算が少なくて、ハードウェア化が容易であり、かつ、適切に画像のコントラストを強調できるようにすることを目的とする。

本発明の画像処理装置は、入力画像から縮小画像を生成する縮小画像生成手段
15 と、縮小画像に基づき、入力画像の補正情報を取得する補正情報取得手段と、入力画像の階調を変換する階調変換手段とを含み、階調変換手段は、階調の変換を行う前および／または後の処理として、補正情報を用いて入力画像のコントラストを補正することを特徴とする。

本発明の画像処理装置は、縮小画像を構成する画素を用いた補間演算により、
20 入力画像を構成する画素の輝度 L_c を平滑化した平滑化画像を生成する平滑化手段をさらに含むことができ、前記階調変換手段は、画像を構成する画素の輝度 L_c 、平滑化画像を構成する画素の輝度 L_s 、および所定のゲイン値 g に基づき、コントラスト補正画像を生成するようにすることができる。

前記階調変換手段は、コントラスト補正画像を構成する画素の輝度 L_u を、次
25 式

$$L_u = g \cdot (L_c - L_s) + L_s$$

に基づいて算出するようにすることができる。

前記縮小手段は、入力された画像を複数のブロックに分割し、各ブロックに属する画素の輝度の平均値を計算して、平均値を画素の輝度とする、ブロックの数と同数の画素から構成される縮小画像を生成するようにすることができる。

前記平滑化手段は、補間される画素の位置である補間位置に対応する縮小画像
5 上の位置を特定し、特定した位置の近傍に存在する縮小画像の画素を用いて、平
滑化画像の画素の輝度 L_1 を演算するようにすることができる。

前記平滑化手段は、補間される画素の位置である補間位置に対応する縮小画像
10 上の位置を特定し、特定した位置の近傍に存在する縮小画像の 4×4 画素を用い
た双3次補間により、平滑化画像の画素の輝度 L_1 を演算するようにする能够
する。

本発明の画像処理装置は、平滑化手段に入力する前の画像を構成する画素の輝
度 L_c を対数変換する対数変換手段と、コントラスト補正画像を構成する画素の
輝度を対数逆変換する対数逆変換手段とをさらに含むことができる。

本発明の画像処理装置は、縮小画像を構成する画素を用いた補間演算により、
15 入力画像を構成する画素の輝度 L_c を平滑化した平滑化画像を生成する平滑化手
段と、コントラストを補正するときに用いるゲイン値 g を設定するゲイン値設定
手段とさらに含むことができ、前記階調変換手段は、入力画像を構成する画素の
輝度 L_c 、平滑化画像を構成する画素の輝度 L_1 、およびゲイン値 g に基づき、コ
ントラスト補正画像を生成し、前記ゲイン値設定手段は、ゲイン値 g を、入力さ
れられた初期ゲイン値 g_0 、基準ゲイン値 1 、並びに、第1の輝度閾値 T_{h_1} 、第2の
20 輝度閾値 T_{h_2} 、および入力画像を構成する画素の輝度 L_c によって算出される減
衰値 $attn (T_{h_1}, T_{h_2}, L_c)$ に基づいて設定するようにすることができる。

本発明の画像処理装置は、入力画像を構成する画素の輝度 L_c を、変換関数に基
づいて変換し、トーン変換画像を生成する変換手段と、トーン変換画像を構成す
25 る画素の輝度 L_c を平滑化して、平滑化画像を生成する平滑化手段と、変換関数
の傾き γ の逆数 $1/\gamma$ である初期ゲイン値 g_0 に基づき、コントラストを補正す
るときに用いるゲイン値 g を設定するゲイン値設定手段とをさらに含むことがで

き、前記コントラスト補正手段は、トーン変換画像を構成する画素の輝度 L_c 、平滑化画像を構成する画素の輝度 L_1 、およびゲイン値 g に基づき、コントラスト補正画像を生成し、前記ゲイン値設定手段は、ゲイン値 g を、初期ゲイン値 g_0 、基準ゲイン値 1 、並びに、第1の輝度閾値 $T h_1$ 、第2の輝度閾値 $T h_2$ 、およびトーン変換画像を構成する画素の輝度 L_c によって算出される減衰値 $attn$ ($T h_1, T h_2, L_c$) に基づいて設定するようになることができる。

前記ゲイン値設定手段は、ゲイン値 g を次式

$$g = 1 + (g_0 - 1) \cdot attn (T h_1, T h_2, L_c)$$

に従って設定するようになることができる。

前記ゲイン値設定手段は、減衰値 $attn (T h_1, T h_2, L_c)$ を、次式

$$attn (T h_1, T h_2, L_c) = | (L_c - T h_1) / (T h_2 - T h_1) |$$

$$(2 T h_1 - T h_2 \leq L_c \leq T h_2)$$

$$attn (T h_1, T h_2, L_c) = 1$$

$$(L_c < 2 T h_1 - T h_2, T h_2 < L_c)$$

に従って算出するようになることができる。

前記階調変換手段は、コントラスト補正画像を構成する画素の輝度 L_u を、次式

$$L_u = g \cdot (L_c - L_1) + L_1$$

に基づいて算出するようになることができる。

前記第1の輝度閾値 $T h_1$ は、中庸のグレイレベルであり、前記第2の輝度閾値 $T h_2$ は、最大の白レベルであるようになることができる。

前記縮小画像生成手段は、変換関数に基づいて、入力画像をトーン変換画像に変換し、トーン変換画像を縮小して縮小画像を生成し、前記補正情報取得手段は、変換関数の傾きを含む補正情報を取得し、前記階調変換手段は、縮小画像、および変換関数の傾きに基づき、トーン変換画像のコントラストを補正するようになることができる。

本発明の画像処理装置は、1フレーム前の画像に対応する縮小画像、および1

フレーム前の画像に適用された変換関数の傾きを保持する保持手段をさらに含むことができる。

前記縮小画像生成手段は、現フレームの画像の画素値を、1種類以上の変換関数を段階的に用いて変換するようにし、前記階調変換手段は、保持手段によって保持された縮小画像、および1種類以上の変換関数にそれぞれ対応する傾きの積に基づき、トーン変換画像のコントラストを補正して、コントラスト補正画像を生成するようになることができる。
5

前記1種類以上の変換関数のうち、少なくとも1種類の変換関数は、単調増加関数であるようになることができる。

10 本発明の画像処理装置は、トーン変換画像の画素値の平均値を算出する平均値算出手段をさらに含むことができ、前記1種類以上の変換関数のうち、少なくとも1種類の変換関数の傾きは、平均値算出手段によって算出された平均値の逆数に比例するようになることができる。

前記平均値算出手段は、トーン変換画像を複数のブロックに分割し、各ブロックの画素値の平均を算出して重み付け加算した値を、平均値として算出するようになることができる。
15

前記縮小画像生成手段は、トーン変換画像を縮小して第1の縮小画像を生成し、第1の縮小画像の画素値の平均値の逆数に比例する値を第1の縮小画像の各画素値に乗算して、第2の縮小画像を生成するようになることができる。

20 本発明の画像処理装置は、現フレームの画像の画素値を対数変換する対数変換手段と、コントラスト補正画像の画素値を対数逆変換する対数逆変換手段をさらに含むことができる。

本発明の画像処理装置は、コントラスト補正画像の画素値をガンマ変換するガンマ変換手段と、ガンマ変換手段によってガンマ変換されたコントラスト補正画像の輝度成分の分布範囲を示す輝度域情報を算出する輝度域情報算出手段と、輝度域情報算出手段によって算出された輝度域情報に基づき、ガンマ変換手段によってガンマ変換されたコントラスト補正画像の画素値の分布を、所定の範囲に正
25

規化する正規化手段とをさらに含むことができる。

前記輝度域情報算出手段は、ガンマ変換手段によってガンマ変換されたコントラスト補正画像の輝度成分の上限値および下限値を、輝度域情報として算出するようにし、前記正規化手段は、輝度域情報算出手段によって算出されたコントラスト補正画像の輝度成分の上限値および下限値が、それぞれ、想定される再現デバイスが再現可能な輝度成分の範囲の上限値および下限値に一致するように、コントラスト補正画像の画素値を変換するようにすることができる。
5

前記保持手段は、輝度域情報算出手段によって算出された1フレーム前の輝度域情報も保持するようにすることができる。

10 前記画像は、輝度成分を有する画素から構成されたモノクロ画像とすることができる。

前記画像は、複数の色成分を有する画素から構成されたカラー画像とすることができる。

前記縮小画像生成手段は、カラー画像を元にして、輝度成分を有する画素から構成された第1の輝度画像を生成し、第1の輝度画像をトーン変換輝度画像に変換し、トーン変換輝度画像に基づいて、複数の色成分を有する画素から構成されたカラーのトーン変換画像を生成するようにすることができる。
15

前記縮小画像生成手段は、カラー画像の各色成分の値と第1の輝度画像の輝度成分の値の差分値を算出し、差分値と変換関数の傾きとの積を算出し、積をトーン変換輝度画像の各色成分の値に加算して、トーン変換画像の各色成分を算出するようにすることができる。
20

前記縮小画像生成手段は、第1の輝度画像の輝度成分の平均値を算出し、平均値の逆数に比例する係数を算出し、係数をカラー画像の各色成分の値に乗算して、トーン変換画像の各色成分を算出するようにすることができる。

25 前記階調変換手段は、カラーのトーン変換画像を元にして、輝度成分を有する画素から構成された第2の輝度画像を生成し、第2の輝度画像、保持手段によって保持された縮小画像、および変換関数の傾きに基づき、変換手段によって生成

されたカラーのトーン変換画像のコントラストを補正して、カラーのコントラスト補正画像を生成するようになることができる。

本発明の画像処理装置は、カラーのコントラスト補正画像の画素値をガンマ変換するガンマ変換手段と、ガンマ変換手段によってガンマ変換されたカラーのコントラスト補正画像を元にして、輝度成分を有する画素から構成された第3の輝度画像を生成し、第3の輝度画像の輝度成分の分布範囲を示す輝度域情報を算出する輝度域情報算出手段と、輝度域情報算出手段によって算出された輝度域情報に基づき、ガンマ変換手段によってガンマ変換されたカラーのコントラスト補正画像の画素値の分布を、所定の範囲に正規化する正規化手段とをさらに含むことができる。
5
10

本発明の画像処理方法は、入力画像から縮小画像を生成する縮小画像生成ステップと、縮小画像に基づき、入力画像の補正情報を取得する補正情報取得ステップと、入力画像の階調を変換する階調変換ステップとを含み、階調変換ステップは、階調の変換を行う前および／または後の処理として、補正情報を用いて入力画像のコントラストを補正する。
15

本発明の画像処理装置および方法によれば、入力画像から縮小画像が生成され、生成された縮小画像に基づき、入力画像の補正情報が取得され、入力画像の階調が変換される。この階調変換の処理では、階調の変換を行う前および／または後の処理として、補正情報を用いて入力画像のコントラストが補正される。

20

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施の形態であるデジタルビデオカメラの構成例を示すブロック図である。

図2は、図1のDSPの第1の構成例を示すブロック図である。

25
図3は、図2のトーンカーブ補正部の第1の構成例を示すブロック図である。

図4は、トーンカーブの一例を示す図である。

図5は、図2のトーンカーブ補正部の第2の構成例を示すブロック図である。

図6は、図2のトーンカーブ補正部の第3の構成例を示すブロック図である。

図7は、図2の縮小画像生成部の構成例を示すブロック図である。

図8は、図7の平均値計算部の構成例を示すブロック図である。

図9は、図2のコントラスト補正部の構成例を示すブロック図である。

5 図10は、図9の補間部の構成例を示すブロック図である。

図11は、図9の補間部の処理を説明するための図である。

図12は、図9のゲイン値設定部の構成例を示すブロック図である。

図13は、図9のコントラスト強調部の構成例を示すブロック図である。

図14は、図2の輝度域正規化部の処理を説明するための図である。

10 図15は、図2の輝度域情報算出部の構成例を示すブロック図である。

図16は、図2の輝度域正規化部の構成例を示すブロック図である。

図17は、図2のトーンカーブ補正部乃至コントラスト補正部と置換可能な複合部の構成例を示すブロック図である。

15 図18は、DSPの第1の構成例による階調圧縮処理を説明するフローチャートである。

図19は、図18のステップS1の処理の詳細を説明するフローチャートである。

図20は、図18のステップS2の処理の詳細を説明するフローチャートである。

20 図21は、図1のDSPの第2の構成例を示すブロック図である。

図22は、図21のトーンカーブ補正部の第1の構成例を示すブロック図である。

図23は、図21のトーンカーブ補正部の第2の構成例を示すブロック図である。

25 図24は、図21のトーンカーブ補正部の第3の構成例を示すブロック図である。

図25は、図21の縮小画像生成部の構成例を示すブロック図である。

図26は、図21のコントラスト補正部の構成例を示すブロック図である。

図27は、図21のトーンカーブ補正部乃至コントラスト補正部と置換可能な複合部の構成例を示すブロック図である。

図28は、図21の輝度域情報算出部の構成例を示すブロック図である。

5 図29は、DSPの第2の構成例による階調圧縮処理を説明するフローチャートである。

図30は、図29のステップS43の処理の詳細を説明するフローチャートである。

10 図31は、図29のステップS44の処理の詳細を説明するフローチャートである。

図32は、本発明を適用した画像処理システムの構成例を示すブロック図である。

図33は、図32に示された画像処理システムの動作を説明するフローチャートである。

15 図34は、図32に示された画像処理装置の第1の構成例を示すブロック図である。

図35は、図34に示されたトーンカーブ補正部の構成例を示すブロック図である。

20 図36は、画像処理装置の第1の構成例において用いられるトーンカーブの一例を示す図である。

図37は、図34に示された平滑化輝度生成部の構成例を示すブロック図である。

図38は、図37に示された縮小画像生成部の構成例を示すブロック図である。

図39は、図38に示された平均値計算部の構成例を示すブロック図である。

25 図40は、図37に示された補間部の構成例を示すブロック図である。

図41は、図34に示されたゲイン値設定部の構成例を示すブロック図である。

図42は、図34に示されたコントラスト補正部の構成例を示すブロック図で

ある。

図43は、画像処理装置の第1の構成例による階調圧縮画像生成処理を説明するフローチャートである。

図44は、図32に示された画像処理装置の第2の構成例を示すブロック図で

ある。

図45は、画像処理装置の第2の構成例による階調圧縮画像生成処理を説明するフローチャートである。

図46汎用のパーソナルコンピュータの構成例を示すブロック図である。

10 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施の形態であるディジタルビデオカメラについて、図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施の形態であるディジタルビデオカメラの構成例を示している。このディジタルビデオカメラ1は、被写体を撮影して、画素値のダイナミックレンジが通常よりも広い広DR画像を生成し、所定の記憶媒体に記録するとともに、構図決定のファインダや映像モニタを兼ねる内蔵されたディスプレイ、あるいは外部機器に対しては、広DR画像を、画素値のダイナミックレンジがより狭い狭DR画像に変換して出力するものである。

ディジタルビデオカメラ1は、大別して光学系、信号処理系、記録系、表示系、
20 および制御系から構成される。

光学系は、被写体の光画像を集光するレンズ2、光画像の光量を調整する絞り3、および集光された光画像を所定のフレームレートで光電変換して広DR画像を生成するCCDイメージセンサ4から構成される。なお、以下においては、CCDイメージセンサ4が生成する広DR画像に関しては、1チャンネルの輝度信号からなるモノクロ画像である場合と、多チャンネル（例えば、3チャンネル）の輝度信号からなるカラー画像である場合の2通りについて説明する。

信号処理系は、CCDイメージセンサ4から出力された広DR画像をサンプリ

グすることによってノイズを低減させる相関2重サンプリング回路(CDS)5、相関2重サンプリング回路5によってノイズが除去された広DR画像を、例えば14乃至16ビット程度のビット幅を有する値にA/D変換するA/Dコンバータ6、A/Dコンバータ6が出力する広DR画像に対して階調圧縮処理を施すDSP(Digital Signal Processor)7から構成される。

A/Dコンバータ6が出力する14乃至16ビットのビット幅を有する広DR画像のように、階調が多い画像信号は、輝度Y、色差Cr、Cb等の通常のビデオ信号では再現しきれないが、DSP7による階調圧縮処理により、輝度Y、色差Cr、Cb等の通常のビデオ信号では再現できる範囲に階調を圧縮されるようになされている。DSP7については、図2以降を参照して詳述する。

ディジタルビデオカメラ1の記録系は、DSP7から入力される広DR画像または狭DR画像をエンコードしてメモリ13に記録したり、メモリ13に記憶されている符号データを読み出してデコードし、DSP7に供給したりするCODEC(Compression/Decompression)12、および、エンコードされた広DR画像または狭DR画像を記憶する、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、半導体などよりなるメモリ13から構成される。

表示系は、DSP7から供給される狭DR画像をD/A変換するD/Aコンバータ9、D/Aコンバータ9が出力するアナログの狭DR画像を、輝度Y、色差Cr、Cb等の通常のビデオ信号に変換してディスプレイ11に出力するビデオエンコーダ10、およびビデオ信号に対応する画像を表示することによってファインダやビデオモニタとして機能するLCD(Liquid Crystal Display)等よりなるディスプレイ11から構成される。

制御系は、CCDイメージセンサ4乃至DSP7の動作タイミングを制御するタイミングジェネレータ(TG)8、ユーザからの各種の操作を受け付ける入出力デバイス15、およびディジタルビデオカメラ1の全体を制御するCPU(Central Processing Unit)14から構成される。

次に、ディジタルビデオカメラ1の動作の概要について説明する。被写体の光

学画像（入射光）は、レンズ2および絞り3を介してCCDイメージセンサ4に入射され、CCDイメージセンサ4によって光電変換され、得られた広DR画像の画素となる電気信号は、相関2重サンプリング回路5によってノイズが除去され、A/Dコンバータ6によってデジタル化された後、DSP7に供給される。

5 DSP7は、A/Dコンバータ6から入力された広DR画像に対して階調圧縮処理を施し、狭DR画像を生成して、D/Aコンバータ9またはCODEC12、あるいは両方に outputする。D/Aコンバータ9に供給された狭DR画像は、DA変換され、ビデエンコーダ10により通常のビデオ信号に変換されて、その画像がディスプレイ11に表示される。一方、CODEC12に供給された狭DR画像は、
10 符号化されてメモリ13に記録される。以上で、デジタルビデオカメラ1の動作概要の説明を終了する。

次に、本発明の主眼となるDSP7について説明する。

図2は、モノクロ画像である広DR画像に対応したDSP7の第1の構成例を示している。以下、DSP7に入力されるモノクロの広DR画像を、広DR輝度画像
15 Lと記述する。また、広DR輝度画像の画素値（すなわち、輝度値）を、L(p)と記述する。ここで、pは、 $p = (x, y)$ のように、画像における画素位置を示すベクトルまたは座標である。従って、L(p)は、画素位置と輝度値の両方の情報を含むものとして、広DR輝度画像を表すLとは区別して用いることとする。後述するその他の画像とその画素値についても同様である。

20 DSP7には、広DR輝度画像Lの輝度L(p)がラスター順に入力されるものとする。

DSP7の第1の構成例において、対数変換部21は、入力される輝度L(p)を対数変換し、得られる対数輝度 $\log L(p)$ をトーンカーブ補正部22に出力する。トーンカーブ補正部22は、入力される対数輝度 $\log L(p)$ に対し、予め用意されているトーンカーブを適用して階調を圧縮する方向に変換し、得られる対数輝度 $\log L_{\alpha}(p)$ を縮小画像生成部23およびコントラスト補正部25に出力する。また、トーンカーブ補正部22は、適用したトーンカーブの傾きを示す

代表値 γ をコントラスト補正部 25 に出力する。以下、適用したトーンカーブの傾きを示す代表値 γ を、単に代表値 γ とも記述する。

縮小画像生成部 23 は、トーンカーブ補正部 22 から入力される 1 フレーム分の対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づき、縮小画像 $\log L_{c1}$ を生成して、縮小画像メモリ 24 に保持させる。
5

コントラスト補正部 25 は、トーンカーブ補正部 22 から入力される現フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のトーンカーブ補正によって弱められているコントラストを、代表値 γ および縮小画像メモリ 24 に保持されている 1 フレーム前の縮小画像 $\log L_{c1}$ に基づいて補正し、得られる対数輝度 $\log L_u(p)$ を対数逆変換部 26 に出力する。対数逆変換部 26 は、コントラストが補正された対数輝度 $\log L_u(p)$ を、対数逆変換して、得られる通常軸の輝度 $L_u(p)$ をガンマ補正部 27 に出力する。
10
15

ガンマ補正部 27 は、対数逆変換部 26 から入力される輝度 $L_u(p)$ に対して、再生デバイス（例えば、ディスプレイ 11）のガンマ特性を考慮したガンマ補正を施し、得られるガンマ補正後の輝度 $Y(p)$ を輝度情報算出部 28 および輝度域正規化部 30 に出力する。輝度情報算出部 28 は、ガンマ補正部 27 から入力される 1 フレーム分の輝度 $Y(p)$ に対して、それぞれ、輝度の分布を示す輝度域情報を算出して輝度域情報メモリ 29 に保持させる。ここで、輝度域情報とは、1 フレームにおける輝度の分布の範囲を示す情報であって、例えば、最も暗い方に近い輝度 Y_a と、最も明るい方に近い輝度 Y_b を輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ として算出するようとする。
20

輝度域正規化部 30 は、輝度域情報メモリ 29 に保持されている 1 フレーム前の輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ に基づき、ガンマ補正部 27 から入力される現フレームの輝度 $Y(p)$ を、その分布範囲が再生デバイス（例えば、ディスプレイ 11）が表現可能な範囲に合致するように変換し、得られる輝度 $Y_n(p)$ を、狭 DR 画像の画素値として後段に出力する。
25

以上説明したように、DSP 7 の第 1 の構成例による階調圧縮処理の過程において

て、縮小画像生成部 23 により縮小画像 $\log L_{c1}$ が生成され、輝度域情報算出部 28 により輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ が算出される。この縮小画像 $\log L_{c1}$ および輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ を以下、中間情報と記述する。

DSP 7 によれば、入力される広DR 輝度画像の各フレームに対して中間情報が算出され、算出された中間情報が、1 フレーム後の広DR 輝度画像を処理するために用いられる。
5

一般に、階調圧縮を効果的に施すためには、画像全体または画像上で広域な範囲の輝度値に基づいて算出された情報が必要であるが、当該情報を算出するまでのタイムラグが大きくなることが実装上の問題となる。そこで、DSP 7 では、当 10
該情報として、時間的に非常に変化し難いものを選ぶことによって、1 フレーム前の中間情報を現フレームに対する階調圧縮に利用する。このような構成をとることにより、実装してもメモリ使用量や回路規模が大きくなることを回避するこ
とができる。

次に、DSP 7 の第 1 の構成例の各部の詳細について、図面を参照して説明する。

15 図 3 は、トーンカーブ補正部 22 の第 1 の構成例を示している。当該第 1 の構成例において、LUT メモリ 41 には、図 4 に示すような単調増加のトーンカーブに相当するルックアップテーブル（以下、LUT と記述する）とトーンカーブの傾きを示す代表値 γ が予め保持されている。なお、LUT の代わりに、トーンカーブに相当する関数を保持するようにしてもよい。テーブル参照部 42 は、LUT メモリ 41 に保持されている LUT に基づいて対数輝度 $\log L(p)$ を対数輝度 $\log L_{(p)}$ に補正する。
20

25 図 4 は、トーンカーブの一例を示しており、横軸が入力輝度 $L(p)$ を、縦軸がトーンカーブ補正後の輝度 $L_{(p)}$ を、それぞれ $[0, 1]$ に正規化して対数軸で表示している。この例のように、単調増加であって、緩やかな逆 S 字形のトーンカーブを適用すると、高輝度領域と低輝度領域では、階調圧縮があまり強く作用しないので、階調圧縮後でも白ツブレや黒ツブレが少ない良好な色調が得られる。逆に中間輝度域は階調圧縮が強く作用するが、その分だけ、中間輝度域

に対しては、後述するコントラスト補正が十分に適用されるので、中間輝度域でもコントラスト劣化のない良好な狭DR画像が得られる。

なお、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ は、例えば、輝度全域の傾きをそれぞれ求めて、それらの平均値を代表値 γ とすればよい。図4に示されたトーンカーブの場合、代表値 $\gamma = 0.67$ である。

図5は、トーンカーブ補正部22の第2の構成例を示している。当該第2の構成例は、第1の構成例のように予め用意されているLUTを用いるのではなく、フレーム毎に代表値 γ を算出して、対数輝度 $\log L(p)$ を、対数輝度 $\log L_c(p)$ に補正するものである。第2の構成例において、平均輝度算出部51は、1フレーム分の対数輝度 $\log L(p)$ の平均値 μ を算出する。除算器52は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算し、代表値 γ を算出する。 γ メモリ53は、除算器52から入力された代表値 γ を保持する。乗算器54は、現フレームの対数輝度 $\log L(p)$ に、 γ メモリ53に保持されている1フレーム前の代表値 γ を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出する。

ここで、所定の定数 $\log L_T$ を、中庸レベルの対数輝度と定めておけば、1フレーム分の対数輝度 $\log L(p)$ の平均値が、 $\log L_T$ と等しい値のトーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ に変換されることになる。

代表値 γ はフレーム毎に算出されるが、現実的には各フレームの対数輝度 $\log L(p)$ の平均値 μ に基づいて決定されるので、前後のフレームではあまり変化がないことが期待できる。従って、この代表値 γ も、上述した縮小画像 $\log L_{c1}$ および輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ と同様に、1フレーム前のものを、現フレームに対するトーンカーブ補正に用いるようにしている。以下、代表値 γ も、中間情報に含めることにする。

図6は、トーンカーブ補正部22の第3の構成例を示している。当該第3の構成例は、いわば、第1の構成例と第2の構成例を組み合わせたものである。第3の構成例において、LUTメモリ61には、図4に示されたようなトーンカーブに相当するLUTと、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ_1 が予め保持されている。

テーブル参照部 6 2 は、LUT メモリ 6 1 に保持されている LUT に基づいて対数輝度 $\log L_c(p)$ を、対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ に補正して平均輝度算出部 6 3 および乗算器 6 6 に出力する。

5 平均輝度算出部 6 3 は、1 フレーム分の対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ の平均値 μ を算出し、除算器 6 4 に出力する。除算器 6 4 は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算し、代表値 γ_2 を算出し、 γ_2 メモリ 6 5 に保持させる。乗算器 6 6 は、現フレームの対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ に、 γ_2 メモリ 6 5 に保持されている 1 フレーム前の代表値 γ_2 を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出する。乗算器 6 7 は、代表値 γ_1 、 γ_2 の積を代表値 γ ($= \gamma_1 \cdot \gamma_2$) として後段 10 のコントラスト補正部 2 5 に出力する。

次に、図 7 は、縮小画像生成部 2 3 の構成例を示している。縮小画像生成部 2 3 のソート部 7 1 は、前段のトーンカーブ補正部 2 2 から入力された 1 フレーム分の対数輝度 $\log L_c(p)$ を、画像全体を $m \times n$ 個のブロックに分割したときに属するブロックに応じて分類し、平均値計算部 7 2-1 乃至 7 2-N ($= m \times n$) 15 に供給する。例えば、1 番目のブロックに分類されるものは平均値計算部 7 2-1 に供給され、2 番目のブロックに分類されるものは平均値計算部 7 2-2 に供給される。以下同様であり、N 番目のブロックに分類されるものは平均値計算部 7 2-N に供給される。以下、平均値計算部 7 2-1 乃至 7 2-N を個々に区別する必要がない場合、単に平均値計算部 7 2 と記述する。

20 平均値計算部 7 2-i ($i = 1, 2, \dots, N$) は、1 フレーム分の対数輝度 $\log L_c(p)$ のうち、 i 番目のブロックに分類される対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を算出して、合成部 7 3 に出力する。合成部 7 3 は、平均値計算部 7 2-i からそれぞれ入力される対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を画素値とする $m \times n$ 画素の縮小画像 $\log L_{c1}$ を生成し、後段の縮小画像メモリ 2 4 に保持させる。

25 図 8 は、平均値計算部 7 2 の構成例を示している。平均値計算部 7 2 の加算器 8 1 は、前段のソート部 7 1 から入力される対数輝度 $\log L_c(p)$ に、レジスタ (r) 8 2 が保持する値を加算して、レジスタ (r) 8 2 が保持する値を更新す

る。除算器 8 3 は、レジスタ 8 2 が最終的に保持している値を、1 個のブロックを構成する画素数 Q で除算することにより、1 個のブロックに分類された Q 個の対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を算出する。

次に、図 9 は、コントラスト補正部 2 5 の構成例を示している。コントラスト補正部 2 5 の補間位置指定部 9 1 は、前段のトーンカーブ補正部 2 2 から入力された対数輝度 $\log L_c(p)$ の画素位置 p (以下、補間位置 p とも記述する) を取得して、補間部 9 2 に出力する。補間部 9 2 は、縮小画像メモリ 2 4 に保持されている 1 フレーム前の縮小画像 $\log L_{c,1}$ を用いて、補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c,1}(p)$ を補間ににより算出してコントラスト強調部 9 4 に出力する。

ゲイン値設定部 9 3 は、トーンカーブ補正部 2 2 からの前フレームに対する代表値 γ と、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコントラスト強調量を決めるゲイン値 g (p) を算出する。コントラスト強調部 9 4 は、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ を、ゲイン値 g (p) および縮小画像の補間値 $\log L_{c,1}(p)$ に基づき、低周波数成分以外のコントラストが強調された対数輝度 $\log L_u(p)$ を算出する。

図 10 は、補間部 9 2 の構成例を示している。補間部 9 2 は、1 フレーム前の縮小画像 $\log L_{c,1}$ の補間位置 p の近傍の 4×4 画素を用いた双 3 次補間ににより、補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c,1}(p)$ を補間するものである。

近傍選択部 1 0 1 は、補間位置 p の入力を受けて、縮小画像メモリ 2 4 に保持されている 1 フレーム前の $m \times n$ 画素の縮小画像 $\log L_{c,1}$ から、補間位置 p の近傍の 4×4 画素の画素値 $a[4][4]$ を取得して、積和部 1 0 4 に出力する。ここで $a[i][j]$ の表記は、画素値 a が $i \times j$ の 2 次元配列データであることを示す。また、近傍選択部 1 0 1 は、取得した画素値 $a[4][4]$ と補間位置 p との水平方向の位置ずれ量 d_x 、垂直方向の位置ずれ量 d_y を、それぞれ、水平係数算出部 1 0 2 または垂直係数算出部 1 0 3 に出力する。

ここで、補間位置 p、近傍の画素値 $a[4][4]$ 、位置ずれ量 d_x 、 d_y の関係について、図 11 を参照して説明する。

図11の $m \times n$ のマス目は、 $m \times n$ 画素の縮小画像 $\log L_{c,1}$ を表している。いま、補間位置 $p = (p_x, p_y)$ が与えられたとすると、補間位置 p に対応する縮小画像 $\log L_{c,1}$ 上の位置 q は、 $q = (q_x, q_y) = (p_x / b_x - 0.5, p_y / b_y - 0.5)$ である。ただし、 $(b_x, b_y) = (\text{画像 } \log L_c \text{ の水平画素数} / m, \text{ 画像 } \log L_c \text{ の垂直画素数} / n)$ である。

補間位置 p に対応する縮小画像上の位置 q から近傍画素を得るには、図11においては斜線で示された $q_x - 2 < x < q_x + 2, q_y - 2 < y < q_y + 2$ の範囲に位置する縮小画像 $\log L_{c,1}$ の画素を取得すればよい。斜線で示された領域内の 4×4 の”+”マークで示された位置が取得される画素の位置である。近傍画素と補間位置 p のずれ量 (d_x, d_y) は、補間位置 q の左下方向の最も近い画素との差分とする。すなわち、ずれ量 $(d_x, d_y) = (q_x \text{ の小数部}, q_y \text{ の小数部})$ である。

図10に戻る。水平係数算出部102は、近傍選択部101から入力された水平方向ずれ量 d_x に基づき、水平方向の3次補間係数 $k_x[4]$ を計算する。同様に、垂直係数算出部103は、近傍選択部101から入力された垂直方向ずれ量 d_y に基づき、垂直方向の3次補間係数 $k_y[4]$ を計算する。

例えば、水平方向の3次補間係数 $k_x[4]$ は、次式(1)を用いて計算する。

$$z = |dx - i + 2|$$

$$k_x[i] = \begin{cases} (3z^3 - 6z^2 + 4) / 6 & (z < 1) \\ (-z^3 + 6z^2 - 12z + 8) / 6 & (1 \leq z < 2) \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

… (1)

また、例えば、垂直方向の3次補間係数 $k_y[4]$ は、次式(2)を用いて計算する。

$$z = |dy - j + 2|$$

$$k_y[j] = \begin{cases} (3z^3 - 6z^2 + 4) / 6 & (z < 1) \\ (-z^3 + 6z^2 - 12z + 8) / 6 & (1 \leq z < 2) \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \dots (2)$$

なお、3次補間係数 $k_x[4]$, $k_y[4]$ の計算には、上述した式(1), (2)の他、十分に滑らかな補間が得られるならば、任意の計算式を用いることができる。

5 積和部104は、近傍の画素値 $a[4][4]$ と、水平方向の補間係数 $k_x[4]$ および垂直方向の補間係数 $k_y[4]$ との積和計算により、縮小画像 $\log L_{c1}$ の補間位置 p の補間値 $L_{c1}(p)$ を、次式(3)を用いて算出する。

$$\log L_{c1}(p) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a[i][j] \cdot k_x[i] \cdot k_y[j] \dots (3)$$

10 次に、ゲイン値設定部93について説明する。ゲイン値設定部93は、上述したように、後段のコントラスト強調部94により低周波数域以外が強調される際の強調量を調節するゲイン値 $g(p)$ を設定するものである。ゲイン値 $g(p) = 1$ である場合、コントラスト強調部94においてコントラストは強調も抑制も行われない。ゲイン値 $g(p) > 1$ である場合、その値に対応してコントラストが強調される。また、ゲイン値 $g(p) < 1$ である場合、その値に対応してコントラストが抑制される。

20 ゲイン値設定の概略を説明する。画像のコントラストは、トーンカーブ補正による階調圧縮によって既に抑制されているが、その抑制量はトーンカーブの傾きに依存している。例えば、強い階調圧縮を行うように傾きの小さなトーンカーブが適用されていれば、コントラストの抑制も強くなっていることになる。また、例えばトーンカーブとして傾き1の直線が適用されていれば、画像が変化しない、すなわち、コントラストの抑制は行われていないことになる。

そこで、ゲイン値設定部93では、トーンカーブの傾きの代表値 γ が1よりも

小さい場合には、ゲイン値が 1 より大きくなるように、トーンカーブの傾きの代表値 γ の逆数 $1/\gamma$ をゲイン値として採用する。

また、入力される対数輝度 $\log L_c(p)$ が白レベルまたは黒レベルに近い場合には、中間輝度域と同じようなコントラスト強調を行うとクリッピングが生じて逆に画像のディテールを失う結果となるので、入力される対数輝度 $\log L_c(p)$ が白レベルまたは黒レベルに近くなるに従って、ゲイン値が 1 に近づくようする。

すなわち、代表値 γ の逆数 $1/\gamma = g_0$ として、ゲイン値 $g(p)$ を次式(4)のように算出する。

$$g(p) = 1 + (g_0 - 1) \times \text{attn}(p) \quad \dots (4)$$

10

ここで、 $\text{attn}(p)$ は、減衰する係数であって、次式(5)を用いて計算される。

$$\begin{aligned} \text{attn}(p) &= \text{attn}(\log L_{\text{gray}}, \log L_{\text{white}}, \log L_c(p)) \\ &= \begin{cases} \left| \frac{\log L_c(p) - \log L_{\text{gray}}}{\log L_{\text{white}} - \log L_{\text{gray}}} \right| & (2\log L_{\text{gray}} - \log L_{\text{white}} \leq \log L_c(p) \leq \log L_{\text{white}}) \\ 1 & \text{その他} \end{cases} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

15 なお、式(5)において、 $\log L_{\text{gray}}$ は、中庸なグレイレベルの対数輝度を示し、 $\log L_{\text{white}}$ は、白クリップレベル（最大の白レベル）の対数輝度を示しており、どちらも予め設定されている定数である。

図12は、ゲイン値設定部93の構成例を示している。除算器111は、前段から入力される代表値 γ の逆数 $1/\gamma = g_0$ を算出して減算器112に出力する。20 減算器112は、 $(g_0 - 1)$ を演算して乗算器118に出力する。

減算器113は、対数輝度 $\log L_c(p)$ と、中庸なグレイレベルの対数輝度 $\log L_{\text{gray}}$ の差 ($\log L_c(p) - \log L_{\text{gray}}$) を演算して、除算器115に出力する。

減算器114は、白クリップレベルの対数輝度 $\log L_{\text{white}}$ と、対数輝度 $\log L_{\text{gray}}$ の差 ($\log L_{\text{white}} - \log L_{\text{gray}}$) を演算して、除算器115に出力する。除

算器 115 は、減算器 113 の出力 ($\log L_c(p) - \log L_{gray}$) を、減算器 114 の出力 ($\log L_{white} - \log L_{gray}$) で除算して、絶対値計算器 116 に出力する。絶対値計算器 116 は、除算器 115 の出力の絶対値を計算してクリップ器 117 に出力する。クリップ器 117 は、絶対値計算器 116 の出力が 1 を超過する場合、その値を 1 にクリッピングし、絶対値計算器 116 の出力が 1 を超過しない場合、その値をそのまま、 $attn(p)$ として乗算器 118 に出力する。

乗算器 118 は、減算器 112 の出力に、クリップ器 117 の出力を乗算して、加算器 119 に出力する。加算器 119 は、乗算器 118 の出力に 1 を加算し、演算結果をゲイン値 $g(p)$ として後段に出力する。

次に、図 13 は、コントラスト強調部 94 の構成例を示している。減算器 121 は、対数輝度 $\log L_c(p)$ と、縮小画像の補間値 $\log L_{c1}(p)$ との差 ($\log L_c(p) - \log L_{c1}(p)$) を演算して、乗算器 122 に出力する。乗算器 122 は、減算器 121 の出力とゲイン値 $g(p)$ との積を演算して、加算器 123 に出力する。加算器 123 は、乗算器 122 の出力に、縮小画像の補間値 $\log L_{c1}(p)$ を加算して、コントラスト補正がなされた対数輝度 $\log L_u(p)$ を後段に出力する。

なお、縮小画像の補間値 $\log L_{c1}(p)$ は、 $m \times n$ 画素の縮小画像を元にして補間された値であるから、縮小前の画像 $\log L_c$ のごく低周波域成分だけをもつものである。

つまり、減算器 121 の出力 ($\log L_c(p) - \log L_{c1}(p)$) は、元の対数輝度 $\log L_c(p)$ からごく低域成分だけを差し引いたものである。このように輝度信号をごく低周波域の成分とそれ以外の成分の 2 つに分離し、そのうち、低周波域成分以外をゲイン値 $g(p)$ を乗算して強調した後、再び加算器 123 により合成したものが、コントラスト補正がなされた対数輝度 $\log L_u(p)$ である。

このように、コントラスト強調部 94 では、ごく低周波域を除く、低中周波域から高周波域の成分が同じゲイン値 $g(p)$ で強調されるようになっている。従って、コントラスト補正がなされた対数輝度 $\log L_u(p)$ は、高周波域だけを強

調したときに目立つ、エッジ部分の局所的なオーバーシュートは発生せず、見た目にもごく自然にコントラストが強調された画像が得られるようになされている。

次に、輝度域情報算出部 28 および輝度域正規化部 30 について説明する。

5 まず、輝度域正規化処理の概要を説明する。DSP 7 による階調圧縮処理の目的は広D R 輝度画像を、ディスプレイ 11 などの再生デバイスのダイナミックレンジに適合した狭D R 画像に変換することであり、そのために、再生デバイスのダイナミックレンジにあわせたトーンカーブがトーンカーブ補正部 22 に予め用意されている。これにより、撮影された大多数の広D R 輝度画像を、適切に階調 10 圧縮することができる。

しかしながら、撮影する被写体によっては、入射光のダイナミックレンジが元々それほど大きくないこともあり得るので、その画像に階調圧縮処理を施した場合、必要以上に階調圧縮が行われてしまい、再生デバイスの再生可能なダイナミックレンジよりも狭いレンジに、輝度が押し込められてしまうこともあり得る。

15 これを抑止するために、輝度域正規化部 30 では、階調圧縮処理の最終段階の処理として、ガンマ補正後の輝度信号 $Y(p)$ のダイナミックレンジが、再生デバイスが再生可能なダイナミックレンジに一致するように、ガンマ補正後の輝度信号 $Y(p)$ を正規化する。

図 14 は、輝度域正規化部 30 による輝度域正規化処理の様子を示している。 20 同図の折れ線グラフは、横軸に輝度域正規化前のガンマ補正された輝度 Y を示し、縦軸に輝度域正規化後の輝度 Y_n を示しており、階調変換曲線 α は、輝度 Y を Y_n に変換するときに用いる変換テーブルを示している。

階調変換曲線 α の求め方について説明する。折れ線グラフの下に示された斜線の図形 131 は、輝度域正規化前の輝度画像 Y のヒストグラムの一例である。この例においては、ガンマ補正が行われた輝度域正規化前の段階で、デジタルビデオカメラ 1 が生成し得る最低輝度 Y_{min} から最高輝度 Y_{max} までのダイナミックレンジよりも狭いダイナミックレンジに階調圧縮された輝度画像が得られて

いる。

このダイナミックレンジのままで再生デバイスに出力すると、再生デバイスの再生可能なダイナミックレンジが有効に使われないので、輝度域正規化前の輝度画像Yの輝度分布が、再生デバイスのダイナミックレンジの全域に亘って分布するように正規化を実行する。
5

そのためにまず、輝度域正規化前の輝度画像Yのヒストグラム形状131が分布する範囲 [Y_d , Y_b] を、輝度域正規化前の輝度画像Yの輝度域情報として算出する。そして、再生デバイスの輝度域 [Y_{n_b} , Y_{n_c}] の上下端よりも若干内側の輝度 Y_{n_a} , Y_{n_s} を設定し、横軸の輝度 $\{Y_{min}, Y_d, Y_b, Y_{max}\}$ が縦軸の輝度 $\{Y_{n_b}, Y_{n_a}, Y_{n_s}, Y_{n_c}\}$ に対応するように階調変換曲線 α を決定する。
10

この階調変換曲線 α を用いて階調変換を行えば、折れ線グラフの左に示された斜線の図形132のようなヒストグラム形状をもつ輝度画像Y_nを得ることができる。

なお、輝度域正規化前の輝度域 [Y_d , Y_b] を、再生デバイスの輝度域 [Y_n ,
15 Y_{n_c}] よりも若干狭い輝度域 [Y_{n_a} , Y_{n_s}] に写像するように、階調変換曲線 α を決定したが、その理由は、輝度 Y_{n_b} , Y_{n_c} 付近での急激な輝度クリッピングが画像上に現れないようにするためである。

ここで、輝度 Y_{n_a} , Y_{n_s} は、輝度 Y_{n_b} , Y_{n_c} に基づいて予め適切な値を設定されているものとする。

なお、輝度域正規化前の輝度域 [Y_d , Y_b] の取得は、輝度域情報算出部28
20 が行い、階調変換曲線 α の決定および輝度Y_n(p)の算出は、輝度域正規化部30が実行する。

図15は、輝度域情報算出部28の構成例を示している。輝度域情報算出部28において、間引き部141は、ガンマ補正部27から入力された輝度Y(p)
25 を、その画素位置pに基づいて選別する。すなわち、予め設定された画素位置の画素の輝度だけを後段のMINソート部142およびMAXソート部145に供給する。

MIN ソート部 142 は、比較部 143 とレジスタ 144 の組み合わせが k 組直列に配置されており、入力された輝度 Y (p) を小さい順にレジスタ 144-1 乃至 144-k に保持するようになされている。

例えば、比較部 143-1 は、間引き部 141 からの輝度 Y (p) とレジスタ 144-1 の値を比較し、間引き部 141 からの輝度 Y (p) がレジスタ 144-1 の値よりも小さい場合、間引き部 141 からの輝度 Y (p) を用いてレジスタ 144-1 の値を更新する。反対に、間引き部 141 からの輝度 Y (p) がレジスタ 144-1 の値よりも小さくない場合、間引き部 141 からの輝度 Y (p) は後段の比較部 143-2 に供給される。

比較部 143-2 は、比較部 143-1 からの輝度 Y (p) とレジスタ 144-2 の値を比較し、比較部 143-1 からの輝度 Y (p) がレジスタ 144-2 の値よりも小さい場合、比較部 143-1 からの輝度 Y (p) を用いてレジスタ 144-2 の値を更新する。反対に、比較部 143-1 からの輝度 Y (p) がレジスタ 144-2 の値よりも小さくない場合、比較部 143-1 からの輝度 Y (p) は後段の比較部 143-3 に供給される。

比較部 143-3 以降においても同様であり、1 フレーム分の輝度 Y (p) が入力された段階で、レジスタ 144-1 に輝度 Y (p) の最小値 Y_{min} が保持され、レジスタ 144-2 乃至 144-k に、輝度 Y (p) が小さい順に保持されることになり、レジスタ 144-k に保持された輝度 Y (p) が、輝度域情報の輝度 Y_d として後段に出力される。

MAX ソート部 145 は、比較部 146 とレジスタ 147 の組み合わせが k 組直列に配置されており、入力された輝度 Y (p) を大きい順にレジスタ 147-1 乃至 147-k に保持するようになされている。

例えば、比較部 146-1 は、間引き部 141 からの輝度 Y (p) とレジスタ 147-1 の値を比較し、間引き部 141 からの輝度 Y (p) がレジスタ 144-1 の値よりも大きい場合、間引き部 141 からの輝度 Y (p) を用いてレジスタ 147-1 の値を更新する。反対に、間引き部 141 からの輝度 Y (p) がレ

ジスタ 147-1 の値よりも大きくない場合、間引き部 141 からの輝度 Y (p) は後段の比較部 146-2 に供給される。

比較部 146-2 は、比較部 146-1 からの輝度 Y (p) とレジスタ 147-2 の値を比較し、比較部 146-1 からの輝度 Y (p) がレジスタ 147-2 の値よりも大きい場合、比較部 146-1 からの輝度 Y (p) を用いてレジスタ 147-2 の値を更新する。反対に、比較部 146-1 からの輝度 Y (p) がレジスタ 147-2 の値よりも大きくない場合、比較部 146-1 からの輝度 Y (p) は後段の比較部 146-3 に供給される。

比較部 146-3 以降においても同様であり、1 フレーム分の輝度 Y (p) が入力された段階で、レジスタ 147-1 に輝度 Y (p) の最大値 Y_{max} が保持され、レジスタ 147-2 乃至 147-k に、輝度 Y (p) が大きい順に保持されることになり、レジスタ 147-k に保持された輝度 Y (p) が、輝度域情報の輝度 Y_b として後段に出力される。

なお、MIN ソート部 142 および MAX ソート部 145 に入力される輝度 Y (p) は、間引き部 141 により間引きされたものであるので、間引きの間隔と、MIN ソート部 142 および MAX ソート部 145 の段数 k を適切に調整すれば、1 フレームの全画素のうち、例えば、上限および下限のそれぞれ 1% 等に相当する輝度 Y_d , Y_b を得ることが可能になる。

図 16 は、輝度域正規化部 30 の構成例を示している。輝度域正規化部 30 は、上述したように、階調変換曲線 α を決定し、階調変換曲線 α を用いてガンマ補正後の輝度 Y (p) を輝度域正規化後の輝度 Y_n (p) に変換するものである。

図 14 に示されたように、階調変換曲線 α は 5 本の線分で構成されているので、輝度域正規化部 30 では、入力された輝度 Y (p) がどの線分の範囲であるかを判別し、入力された輝度 Y (p) に階調変換曲線 α を構成する 5 本の線分のうちの 1 つを適用して、輝度域正規化後の輝度 Y_n (p) に変換する。

輝度域正規化部 30 のセレクタ 151 は、入力端子 i に入力される輝度 Y (p) に基づき、入力端子 a 乃至 h にそれぞれ入力される輝度 Y_{max} , Y_b , Y_d , Y_{mi}

Y_n , Y_{n_c} , Y_{n_s} , Y_{n_a} , Y_{n_b} のうちの4つの輝度を、出力端子j乃至mから出力する。この対応関係は、次式(6)の通りである。

$$[j, k, l, m] = \begin{cases} [h, h, c, d] & i < d \\ [h, g, c, d] & d \leq i < c \\ [g, f, b, c] & c \leq i < b \\ [f, e, a, b] & b \leq i < a \\ [e, e, a, b] & a \leq i \end{cases} \dots (6)$$

5 減算器152は、出力端子kの出力と出力端子jの出力の差を演算して、除算器155に出力する。減算器153は、出力端子1の出力と減算器154の出力の差を演算して、除算器155に出力する。減算器154は、輝度Y(p)と出力端子mの出力との差を演算して、乗算器156に出力する。除算器155は、減算器152の出力と減算器153の出力の比を演算して乗算器156に出力する。乗算器156は、除算器155の出力と減算器154の出力の積を演算して、加算器157に出力する。加算器157は、出力端子jの出力と乗算器156の出力を加算して出力する。

加算器157の出力 $Y_n(p)$ は、ガンマ補正後の輝度Y(p)に基づいて判別された階調変換曲線 α の線分を示す次式(7)に示すとおりとなる。

$$15 Y_n(p) = \frac{k-j}{l-m}(Y(p)-m)+j \dots (7)$$

以上で、図2に示されたDSP7を構成する各部の説明を終了する。

ところで、図6に示されたトーンカーブ補正部22の平均輝度算出部63と、図7に示された縮小画像生成部23の平均輝度計算部72が同様の計算を実行することに着目すれば、よりシンプルな回路構成で演算量を減少させることが可能である。具体的には、図2のトーンカーブ補正部22、縮小画像生成部23、縮小画像メモリ24、およびコントラスト補正部25を組み合わせて、図17に示すような複合部を設ければよい。

この複合部 160 は、図 2 に示されたトーンカーブ補正部 22、縮小画像生成部 23、縮小画像メモリ 24、およびコントラスト補正部 25 と置換可能なものである。

複合部 160 の LUT メモリ 161 には、図 4 に示されたようなトーンカーブに相当する LUT と、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ_1 が予め保持されている。5 テーブル参照部 162 は、上段から入力された対数輝度 $\log L_c(p)$ を、LUT メモリ 161 に保持されている LUT に基づいて対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ に補正して縮小画像生成部 163 および乗算器 172 に出力する。

縮小画像生成部 163 は、対数輝度画像 $\log L_{c'}$ を $m \times n$ 個のブロックに分割10 し、各ブロックに属する画素の対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ の平均値を算出して、 $m \times n$ 画素の第 1 の縮小画像を生成し、第 1 の縮小画像メモリ 164 に保持させる。

平均輝度算出部 63 は、第 1 の縮小画像メモリ 164 に保持されている 1 フレーム前の第 1 の縮小画像の画素値の平均値 μ を算出して、除算器 166 に出力する。除算器 166 は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算し、代表値 γ_2 を算出15 し、 γ_2 メモリ 167 に保持させる。乗算器 168 は、第 1 の縮小画像メモリ 164 に保持されている第 1 の縮小画像の各画素に、 γ_2 メモリ 165 に保持されている代表値 γ_2 を乗算して、第 2 の縮小画像 $\log L_{c1}$ を生成し、第 2 の縮小画像メモリ 169 に持させる。

乗算器 170 は、テーブル参照部 162 から入力された現フレームの対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ に、 γ_2 メモリ 167 に保持されている 1 フレーム前の代表値 γ_2 20 を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出する。乗算器 171 は、代表値 γ_1 、 γ_2 の積を代表値 γ ($= \gamma_1 \cdot \gamma_2$) としてゲイン値設定部 172 に出力する。

ゲイン値設定部 172 は、乗算器 171 から入力された前フレームに対する代表値 γ と、乗算器 170 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ 25 に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコントラスト強調量を決めるゲイン値 $g(p)$ を算出する。

補間位置指定部 173 は、乗算器 170 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ の画素位置 p （以下、補間位置 p とも記述する）を取得して、補間部 174 に出力する。補間部 174 は、第 2 の縮小画像メモリ 169 に保持されている 1 フレーム前の第 2 の縮小画像 $\log L_{c1}$ を用いて、補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c1}(p)$ を補間により算出してコントラスト強調部 175 に出力する。

コントラスト強調部 175 は、乗算器 170 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ について、ゲイン値 $g(p)$ および縮小画像の補間値 $\log L_{c1}(p)$ に基づき、低周波数成分以外のコントラストが強調された対数輝度 $\log L_u(p)$ を算出する。

この複合部 160 を用いれば、平均輝度算出部 165 は、第 1 の縮小画像の $m \times n$ 画素の平均値を算出することになるので、本来の画像サイズの対数輝度画像 $\log L_c$ の画素の平均値を算出する図 6 の平均輝度算出部 63 に比較して、演算量を削減することができる。従って、演算に起因する遅延時間を短縮することができる。

次に、図 17 に示された複合部 160 が適用された DSP 7 の第 1 の構成例による総合的な階調圧縮処理について、図 18 のフローチャートを参照して説明する。

ステップ S1において、DSP 7 は、入力された現フレームの広 DR 輝度画像 L を、1 フレーム前の広 DR 輝度画像に対して算出され、保持されている中間情報（第 2 の縮小画像 $\log L_c(p)$ 、代表値 γ 、輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ ）を基づいて狭 DR 輝度画像 Y_n に変換する。また、DSP 7 は、現フレームの広 DR 輝度画像 L に対する中間情報を算出する。

ステップ S2において、DSP 7 は、算出した現フレームの広 DR 輝度画像 L に対する中間情報を用いて、保持していた 1 フレーム前の広 DR 輝度画像に対する中間情報を更新する。

ステップ S3において、DSP 7 は、入力された現フレームの広 DR 輝度画像に、後続するフレームが存在するか否かを判定し、後続するフレームが存在すると判

定した場合、ステップ S 1 に戻り、それ以降の処理を繰り返す。反対に、後続するフレームが存在しないと判定された場合、この階調圧縮処理は終了される。

ステップ S 1 における画素単位の処理の詳細を、図 1 9 のフローチャートを参考して説明する。以下に説明する各ステップの処理は、ラスタ順に入力される注目画素（画素位置 p）に対して実行される。

ステップ S 1 1において、DSP 7 に注目画素（画素位置 p）の輝度 $L(p)$ が入力される。ステップ S 1 2において、対数変換部 2 1 は、入力された輝度 $L(p)$ を対数変換し、得られた対数輝度 $\log L(p)$ を複合部 1 6 0 に出力する。ステップ S 1 3において、複合部 1 6 0 のテーブル参照部 1 6 2 は、対数変換部 2 1 から入力された対数輝度 $\log L(p)$ を、LUT メモリ 1 6 1 に保持されている LUT に基づいて対数輝度 $\log L_c(p)$ に補正して縮小画像生成部 1 6 3 および乗算器 1 7 2 に出力する。これと同時に、LUT メモリ 1 6 1 は、トーンカーブの傾きの代表値 γ_1 を乗算器 1 7 1 に出力する。乗算器 1 7 1 は、代表値 γ_1 と γ_2 メモリ 1 6 7 に保持されている 1 フレーム前の第 1 の縮小画像に基づいて算出された γ_2 の積を代表値 γ としてゲイン値設定部 1 7 2 の出力する。

ステップ S 1 4において、縮小画像生成部 1 6 3 は、トーンカーブ補正後の 1 フレーム分の対数輝度 $\log L_c'(p)$ を元に、第 1 の縮小画像を生成する。ここで、生成された第 1 の縮小画像に基づき、代表値 γ_2 が算出される。また、生成された第 1 の縮小画像に算出された代表値 γ_2 が乗算されて、第 2 の縮小画像 $\log L_{c1}$ が生成される。

ステップ S 1 5において、乗算器 1 7 0 は、テーブル参照部 1 6 2 から入力された現フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に、 γ_2 メモリ 1 6 7 に保持されている 1 フレーム前の代表値 γ_2 を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出する。

ステップ S 1 6において、ゲイン値設定部 1 7 2 は、乗算器 1 7 1 から入力された前フレームに対する代表値 γ と、乗算器 1 7 0 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコ

ントラスト強調量を決めるゲイン値 $g(p)$ を算出する。

ステップ S17において、補間部 174は、第2の縮小画像メモリ 169に保持されている1フレーム前の第2の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を用いて、補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c_1}(p)$ を補間ににより算出してコントラスト強調部 175に出力する。ステップ S18において、コントラスト強調部 175は、第2の縮小画像の補間値 $\log L_{c_1}(p)$ およびゲイン値 $g(p)$ に基づき、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_u(p)$ の低周波域成分以外を強調し、その結果得られたコントラスト補正された対数輝度 $\log L_u(p)$ を後段の対数逆変換部 26に出力する。

ステップ S19において、対数逆変換部 26は、コントラスト補正された対数輝度 $\log L_u(p)$ を、通常軸の輝度 $L_u(p)$ に変換し、ガンマ補正部 27に出力する。ステップ S20において、ガンマ補正部 27は、所定のガンマ補正を行い、得られた輝度 $Y(p)$ を輝度域情報算出部 28および輝度域正規化部 30に出力する。

ステップ S21において、輝度域情報算出部 28は、1フレーム分の輝度 $Y(p)$ を元にして、輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ を生成する。ステップ S22において、輝度域正規化部 30は、輝度域情報メモリ 29に保持されている1フレーム前の輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ に基づき、ガンマ補正部 27から入力された輝度 $Y(p)$ を正規化して、輝度 $Y_n(p)$ を算出する。ステップ S23において、輝度域正規化部 30は、輝度 $Y_n(p)$ を、階調圧縮された狭DR 輝度画像の画素値として出力する。以上で、図 18 のステップ S1 の処理の詳細な説明を終了する。

次に、図 18 のステップ S2 の処理の詳細を、図 20 のフローチャートを参照して説明する。ステップ S31において、縮小画像生成部 163は、トーンカーブ補正後の1フレーム分の対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ を元に生成した第1の縮小画像を用いて、第1の縮小画像メモリ 164に保持されている第1の縮小画像を更新する。

ステップ S32において、除算器 166は、所定の定数 $\log L_T$ を、平均輝度算

出部 165 から入力された平均値 μ で除算して代表値 γ_2 を算出し、算出した代表値 γ_2 を用いて、 γ_2 メモリ 167 に保持されている代表値 γ_2 を更新する。

5 ステップ S33において、乗算器 168 は、ステップ S31 の処理で更新された第 1 の縮小画像メモリ 164 に保持されている第 1 の縮小画像の各画素に、ステップ S32 の処理で更新された γ_2 メモリ 65 に保持されている代表値 γ_2 を乗算して、第 2 の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を生成し、第 1 の縮小画像メモリ 169 に保持されている第 2 の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を更新する。

10 10 ステップ S34において、輝度域情報算出部 28 は、1 フレーム分の輝度 $Y(p)$ を元にして算出した輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ を用いて、輝度域情報メモリ 29 に保持されている 1 フレーム前の輝度域情報 $[Y_a, Y_b]$ を更新する。以上で、図 18 のステップ S2 の処理の詳細な説明を終了する。

15 次に、図 21 は、カラー画像である広 DR 画像に対応した DSP7 の構成例を示している。なお、DSP7 にラスタ順に入力される広 DR 画像は、全ての画素がそれぞれ R, G, B 成分の全てを有しているのではなく、R, G, B 成分のうちのいずれか 1 つを有しているものとする。以下、DSP7 の第 2 の構成例に入力されるカラー画像である広 DR 画像を、広 DR 色モザイク画像と記述する。なお、広 DR 色モザイク画像の各画素が R, G, B 成分のうちのいずれを有しているかは、画素位置によって決定されている。

20 DSP7 にラスタ順に入力される広 DR 色モザイク画像の画素値を、 $L(p)$ と記述する。

DSP7 の当該第 2 の構成例において、デモザイク部 201 は、画素毎に異なる色成分を有する 1 フレーム分の画素値 $L(p)$ を元に対し、全て画素が R, G, B 成分を全て有するようにデモザイク処理を施して、色信号 $[R(p), G(p), B(p)]$ を生成し、色バランス調整部 202 に出力する。以下、デモザイク部 201 から出力される色信号からなる画像を広 DR カラー画像と記述する。

25 色バランス調整部 202 は、画像全体の色バランスが適切になるように、R, G, B 成分それぞれを調整して、色信号 $[R_b(p), G_b(p), B_b(p)]$ を生

成する。なお、デモザイク部 201 および色バランス調整部 202 は、单板式 CCD イメージセンサが搭載された一般的なディジタルビデオに実装されているものである。

対数変換部 203 は、色バランス調整部 202 から入力される色信号 [$R_b(p)$,
5 $G_b(p)$, $B_b(p)$] を対数変換し、得られる対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$,
 $\log B_b(p)$] をトーンカーブ補正部 204 に出力する。トーンカーブ補正部 204 は、入力される対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$]
10 に対し、予め用意されているトーンカーブを適用して階調を圧縮する方向に変換し、得られる対数色信号 [$\log R_c(p)$, $\log G_c(p)$, $\log B_c(p)$] を縮小画像生成部 205 およびコントラスト補正部 207 に出力する。また、トーンカーブ補正部 204 は、適用したトーンカーブの傾きを示す代表値 γ をコントラスト補正部 207 に出力する。

縮小画像生成部 205 は、トーンカーブ補正部 204 から入力される 1 フレーム分の対数色信号 [$\log R_c(p)$, $\log G_c(p)$, $\log B_c(p)$] を元に、縮小画像
15 $\log L_{c1}$ を生成して、縮小画像メモリ 206 に保持させる。

コントラスト補正部 207 は、トーンカーブ補正部 204 から入力される現フレームの対数色信号 [$\log R_c(p)$, $\log G_c(p)$, $\log B_c(p)$] のトーンカーブ補正によって弱められているコントラストを、代表値 γ および縮小画像メモリ 206 に保持されている 1 フレーム前の縮小画像 $\log L_{c1}$ に基づいて補正し、得られる対数色信号 [$\log R_u(p)$, $\log G_u(p)$, $\log B_u(p)$] を対数逆変換部 208 に出力する。対数逆変換部 208 は、コントラストが補正された対数色信号 [$\log R_u(p)$, $\log G_u(p)$, $\log B_u(p)$] を、対数逆変換して、得られる通常軸の色信号 [$R_u(p)$, $G_u(p)$, $B_u(p)$] をガンマ補正部 209 に出力する。

ガンマ補正部 209 は、対数逆変換部 208 から入力される色信号 [$R_u(p)$,
25 $G_u(p)$, $B_u(p)$] に対して、再生デバイス（例えば、ディスプレイ 11）の ガンマ特性を考慮したガンマ補正を施し、得られるガンマ補正後の色信号 [$R_g(p)$, $G_g(p)$, $B_g(p)$] を輝度情報算出部 210 および輝度域正規化部 21

2に出力する。輝度情報算出部 210 は、ガンマ補正部 209 から入力される 1 フレーム分の色信号 [$R_g(p)$, $G_u(p)$, $B_g(p)$] を輝度 $Y(p)$ に変換した後、輝度 $Y(p)$ の分布を示す輝度域情報を算出して輝度域情報メモリ 211 に保持させる。ここで、輝度域情報とは、1 フレームにおける輝度 $Y(p)$ の分布の範囲を示す情報であって、例えば、最も暗い方に近い輝度 Y_a と、最も明るい方に近い輝度 Y_b を輝度域情報 [Y_a , Y_b] として算出するようとする。
5

輝度域正規化部 212 は、輝度域情報メモリ 211 に保持されている 1 フレーム前の輝度域情報 [Y_a , Y_b] に基づき、ガンマ補正部 209 から入力される現フレームの色信号 [$R_g(p)$, $G_u(p)$, $B_g(p)$] を、その分布範囲が再生デバイス(例えば、ディスプレイ 11)が表現可能な範囲に合致するように変換し、得られる色信号 [$R_n(p)$, $G_n(p)$, $B_n(p)$] を、カラー画像である狭 DR 画像の画素値として後段に出力する。
10

以下説明したように、カラー画像に対応する DSP 7 の第 2 の構成例は、デモザイク部 201 および色バランス部 202 が追加されていること以外、図 2 に示されたモノクロ画像に対応する第 1 の構成例とほぼ同様であるが、各部の内部の構成がカラー画像に対応するために若干変更されている。
15

図 22 は、トーンカーブ補正部 204 の第 1 の構成例を示している。当該第 1 の構成例において、輝度生成部 221 は、入力される対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_b(p)$ を生成し、減算器 222-R 乃至 222-B およびテーブル参照部 224 に出力する。
20

減算器 222-R は、対数色信号 $\log R_b(p)$ から対数輝度 $\log L_b(p)$ を減算して、乗算器 225-R に出力する。LUT メモリ 223 には、図 4 に示されたようなトーンカーブに相当する LUT とトーンカーブの傾きを示す代表値 γ が予め保持されている。テーブル参照部 224 は、LUT メモリ 223 に保持されている LUT に基づいて対数輝度 $\log L(p)$ を対数輝度 $\log L_c(p)$ に補正し、加算器 226-R 乃至 226-B に出力する。
25

乗算器 225-R は、減算器 222-R の出力に、LUT メモリ 223 から入力される代表値 γ を乗算して、加算器 226-R に出力する。加算器 226-R は、乗算器 225-R の出力と、対数輝度 $\log L_b(p)$ との和を演算して、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log R_b(p)$ として後段に出力する。

5 なお、G, B 成分をそれぞれ処理する構成要素については、上述した R 成分を処理する構成要素と同様であるので、その説明は省略する。

図 23 は、トーンカーブ補正部 204 の第 2 の構成例を示している。当該第 2 の構成例において、輝度生成部 231 は、入力される対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_b(p)$ を生成し、平均輝度算出部 232 に出力する。平均輝度算出部 232 は、1 フレーム分の対数輝度 $\log L(p)$ の平均値 μ を算出して、除算器 233 に出力する。除算器 233 は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算して代表値 γ を算出し、 γ メモリ 234 に保持させる。

15 乘算器 235-R は、現フレームの対数色信号 $\log R_b(p)$ に、 γ メモリ 234 に保持されている 1 フレーム前の代表値 γ を乗算して、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log R_b(p)$ を算出する。

なお、G, B 成分をそれぞれ処理する構成要素については、上述した R 成分を処理する構成要素と同様であるので、その説明は省略する。

図 24 は、トーンカーブ補正部 204 の第 3 の構成例を示している。当該第 3 の構成例は、いわば、第 1 の構成例と第 2 の構成例を組み合わせたものである。第 3 の構成例において、輝度生成部 241 は、入力される対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_b(p)$ を生成し、減算器 242-R 乃至 242-B およびテーブル参照部 244 に出力する。

25 減算器 242-R は、対数色信号 $\log R_b(p)$ から対数輝度 $\log L_b(p)$ を減算して、乗算器 250-R に出力する。LUT メモリ 243 には、図 4 に示されたようなトーンカーブに相当する LUT とトーンカーブの傾きを示す代表値 γ_1 が

予め保持されている。テーブル参照部244は、LUTメモリ243に保持されているLUTに基づいて対数輝度 $\log L_p$ を、対数輝度 $\log L_c(p)$ に補正して平均輝度算出部245および乗算器249に出力する。

平均輝度算出部245は、1フレーム分の対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値 μ を算出して、除算器246に出力する。除算器246は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算して代表値 γ_2 を算出し、 γ_2 メモリ247に保持させる。乗算器248は、代表値 γ_1 、 γ_2 の積を代表値 γ ($= \gamma_1 \cdot \gamma_2$) として後段のコントラスト補正部207に出力する。

乗算器249は、現フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に、 γ_2 メモリ247に保持されている1フレーム前の代表値 γ_2 を乗算してトーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出し、加算器251-R乃至251-Bに出力する。

乗算器250-Rは、減算器242-Rの出力に、乗算器248から入力される代表値 γ を乗算して、加算器251-Rに出力する。加算器251-Rは、乗算器250-Rの出力と、乗算器249の出力の積を演算し、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log R_c(p)$ として後段に出力する。

なお、G、B成分をそれぞれ処理する構成要素については、上述したR成分を処理する構成要素と同様であるので、その説明は省略する。

次に、図25は、縮小画像生成部205の構成例を示している。縮小画像生成部205の輝度生成部261は、入力されるトーンカーブ補正後の対数色信号 $[\log R_c(p), \log G_c(p), \log B_c(p)]$ の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_c(p)$ を生成し、ソート部262に出力する。

ソート部262は、対数輝度 $\log L_c(p)$ を、画像を $m \times n$ 個のブロックに分割したときに属するブロックに応じて分類し、平均値計算部263-1乃至263-N ($= m \times n$) に供給する。例えば、1番目のブロックに分類されるものは平均値計算部263-1に供給され、2番目のブロックに分類されるものは平均値計算部263-2に供給される。以下同様であり、N番目のブロックに分類されるものは平均値計算部263-Nに供給される。

平均値計算部 263-i ($i = 1, 2, \dots, N$) は、1 フレーム分の対数輝度 $\log L_c(p)$ のうち、 i 番目のブロックに分類される対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を算出して、合成部 264 に出力する。合成部 264 は、平均値計算部 263-i からそれぞれ入力される対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を画素値とする $m \times n$ 画素の縮小画像 $\log L_{c1}$ を生成し、後段の縮小画像メモリ 206 に保持させる。
5

次に、図 26 は、コントラスト補正部 207 の構成例を示している。コントラスト補正部 25 の輝度生成部 270 は、入力されるトーンカーブ補正後の対数色信号 [$\log R_c(p), \log G_c(p), \log B_c(p)$] の線形和を演算することにより 10 対数輝度 $\log L_c(p)$ を生成し、補間位置指定部 271 およびゲイン値設定部 273 に出力する。

補間位置指定部 271 は、対数輝度 $\log L_c(p)$ の画素位置 p (以下、補間位置 p とも記述する) を取得して、補間部 272 に出力する。補間部 272 は、縮小画像メモリ 206 に保持されている 1 フレーム前の縮小画像 $\log L_{c1}$ を用いて、15 補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c1}(p)$ を補間ににより算出して、減算器 274-R 乃至 274-B および加算器 276-R 乃至 276-B に出力する。

ゲイン値設定部 273 は、トーンカーブ補正部 22 から入力される前フレームに対する代表値 γ と、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコントラスト強調量を決めるゲイン値 $g(p)$ 20 を算出し、乗算器 275-R 乃至 275-B に出力する。

減算器 274-R は、対数色信号 $\log R_c(p)$ から補間値 $\log L_{c1}(p)$ を減算して、乗算器 275-R に出力する。乗算器 275-R は、減算器 274-R の出力に、ゲイン値 $g(p)$ を乗算して、加算器 276-R に出力する。加算器 276-R は、乗算器 275-R の出力に、補間値 $\log L_{c1}(p)$ を加算して、25 得られたコントラスト補正後の対数色信号 $\log R_u(p)$ を後段に出力する。

なお、G, B 成分をそれぞれ処理する構成要素については、上述した R 成分を処理する構成要素と同様であるので、その説明は省略する。

次に、図27は、図21のトーンカーブ補正部204、縮小画像生成部205、縮小画像メモリ206、およびコントラスト補正部207と置換することができる複合部300の構成例を示している。

複合部300の輝度生成部301は、入力される対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_b(p)$ を生成し、減算器302-R乃至302-Bおよびテーブル参照部304に出力する。減算器302-Rは、対数色信号 $\log R_b(p)$ から、対数輝度 $\log L_b(p)$ を減算して乗算器316-Rに出力する。

LUTメモリ303には、図4に示されたようなトーンカーブに相当するLUTと、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ_1 が予め保持されている。テーブル参照部304は、輝度生成部301から入力された対数輝度 $\log L(p)$ を、LUTメモリ303に保持されているLUTに基づいて対数輝度 $\log L_c(p)$ に補正し乗算器305および縮小画像生成部306に出力する。

乗算器305は、テーブル参照部304から入力された現フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に、 γ_2 メモリ167に保持されている1フレーム前の代表値 γ_2 を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出し、加算器317-R乃至317-Bに出力する。

縮小画像生成部306は、対数輝度画像 $\log L_c$ を $m \times n$ 個のブロックに分割し、各ブロックに属する画素の対数輝度 $\log L_c(p)$ の平均値を算出して、 $m \times n$ 画素の第1の縮小画像を生成し、第1の縮小画像メモリ307に保持させる。

平均輝度算出部308は、第1の縮小画像メモリ307に保持されている1フレーム前の第1の縮小画像の画素値の平均値 μ を算出して、除算器309に出力する。除算器309は、所定の定数 $\log L_T$ を平均値 μ で除算し、代表値 γ_2 を算出し、 γ_2 メモリ310に保持させる。乗算器311は、代表値 γ_1 , γ_2 の積を代表値 γ ($= \gamma_1 \cdot \gamma_2$) として求め、ゲイン値設定部315および乗算器316-R乃至316-Bに出力する。

乗算器312は、第1の縮小画像メモリ164に保持されている第1の縮小画

像の各画素に、 γ_2 メモリ 310 に保持されている代表値 γ_2 を乗算して、第 2 の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を生成し、第 2 の縮小画像メモリ 313 に持させる。

補間部 314 は、第 2 の縮小画像メモリ 169 に保持されている 1 フレーム前の第 2 の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を用いて、乗算器 170 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ の画素位置 p (以下、補間位置 p とも記述する) に対応する画素 $\log L_{c_1}(p)$ を補間ににより算出して、減算器 318-R 乃至 318-B および加算器 320-R 乃至 320-B に出力する。
5

ゲイン値設定部 315 は、乗算器 311 から入力された前フレームに対する代表値 γ と、乗算器 305 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコントラスト強調量を決めるゲイン値 $g(p)$ を算出し、乗算器 319-R 乃至 319-B に出力する。
10

乗算器 316-R は、減算器 302-R の出力と代表値 γ の積を演算して、加算器 317-R に出力する。加算器 317-R は、乗算器 316-R の出力と、乗算器 305 の出力との和を演算して、減算器 318-R に出力する。減算器 318-R は、加算器 317-R の出力から、補間値 $\log L_{c_1}(p)$ を減算して、乗算器 319-R に出力する。乗算器 319-R は、減算器 318-R の出力にゲイン値 $g(p)$ を乗算して、加算器 320-R に出力する。加算器 320-R は、乗算器 319-R の出力と、補間値 $\log L_{c_1}(p)$ の和を演算して、を加算して、得られたコントラスト補正後の対数色信号 $\log R_u(p)$ を後段に出力する。
15

20 なお、G, B 成分をそれぞれ処理する構成要素については、上述した R 成分を処理する構成要素と同様であるので、その説明は省略する。

この複合部 300 を用いれば、平均輝度算出部 308 は、第 1 の縮小画像の $m \times n$ 画素の平均値を算出することになるので、本来の画像サイズの対数輝度画像 $\log L_c$ の画素の平均値を算出する図 24 の平均輝度算出部 245 に比較して、演算量を削減することができる。従って、演算に起因する遅延時間を短縮することができる。
25

次に、図 28 は、輝度域情報算出部 210 の構成例を示している。輝度域情報

算出部 210において、輝度生成部 331は、ガンマ補正後の色信号 [$R_g(p)$,
 $G_g(p)$, $B_g(p)$] の線形和を演算することにより輝度 $Y(p)$ を生成し、間
引き部 332に出力する。間引き部 332は、輝度生成部 331から入力された
輝度 $Y(p)$ を、その画素位置 p に基づいて選別する。すなわち、予め設定され
5 た画素位置の画素の輝度だけを後段のMIN ソート部 333およびMAX ソート部
336に供給する。

MIN ソート部 333は、比較部 334とレジスタ 335の組み合わせが k 組直
列に配置されており、入力された輝度 $Y(p)$ を小さい順にレジスタ 335-1
乃至 335- k に保持するようになされている。

10 例えれば、比較部 334-1は、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ とレジスタ
335-1の値を比較し、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ がレジスタ 335
-1の値よりも小さい場合、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ を用いてレジス
タ 335-1の値を更新する。反対に、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ がレ
ジスタ 335-1の値よりも小さくない場合、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$
15 は後段の比較部 334-2に供給される。

比較部 334-2以降においても同様であり、1 フレーム分の輝度 $Y(p)$ が
入力された段階で、レジスタ 335-1に輝度 $Y(p)$ の最小値 Y_{min} が保持さ
れ、レジスタ 335-2乃至 335- k に、輝度 $Y(p)$ が小さい順に保持され
ることになり、レジスタ 335- k に保持された輝度 $Y(p)$ が、輝度域情報の
輝度 Y_d として後段に出力される。
20

MAX ソート部 336は、比較部 337とレジスタ 338の組み合わせが k 組
直列に配置されており、入力された輝度 $Y(p)$ を大きい順にレジスタ 338-
1乃至 338- k に保持するようになされている。

例えれば、比較部 337-1は、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ とレジスタ
25 338-1の値を比較し、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ がレジスタ 338
-1の値よりも大きい場合、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ を用いてレジス
タ 338-1の値を更新する。反対に、間引き部 332からの輝度 $Y(p)$ がレ

ジスタ 338-1 の値よりも大きくない場合、間引き部 332 からの輝度 $Y(p)$ は後段の比較部 337-2 に供給される。

比較部 337-2 以降においても同様であり、1 フレーム分の輝度 $Y(p)$ が入力された段階で、レジスタ 338-1 に輝度 $Y(p)$ の最大値 Y_{max} が保持され、レジスタ 338-2 乃至 338-k に、輝度 $Y(p)$ が大きい順に保持されることになり、レジスタ 338-k に保持された輝度 $Y(p)$ が、輝度域情報の輝度 Y_b として後段に出力される。

なお、MIN ソート部 333 および MAX ソート部 336 に入力される輝度 $Y(p)$ は、間引き部 332 により間引きされたものであるので、間引きの間隔と、
10 MIN ソート部 333 および MAX ソート部 336 の段数 k を適切に調整すれば、1 フレームの全画素のうち、例えば上下 1% や 0.1% などに相当する輝度値 Y_a , Y_b を得ることが可能になる。

次に、図 27 に示された複合部 300 が適用された DSP 7 の第 2 の構成例による総合的な階調圧縮処理について、図 29 のフローチャートを参照して説明する。

15 ステップ S41において、DSP 7 (デモザイク部 201) は、広 DR 色モザイク画像にデモザイク処理を施して、広 DR カラー画像を生成し、その画素値、すなわち、色信号 [R (p), G (p), B (p)] をラスター順に色バランス調整部 202 に出力する。ステップ S42において、DSP 7 (色バランス調整部 202) は、画像全体の色バランスが適切になるように、R, G, B 成分それぞれを調整
20 して、色信号 [R_b (p), G_b (p), B_b (p)] を生成する。

ステップ S43において、DSP 7 は、入力される現フレームの広 DR カラー画像の色信号を、1 フレーム前の広 DR カラー画像に対して算出され、保持されている中間情報 (第 2 の縮小画像 $\log L$ (p)、代表値 γ 、輝度域情報 [Y_a , Y_b]) を基づいて狭 DR カラー画像 Y_n に変換する。また、DSP 7 は、現フレームの広 DR カラー画像 L に対する中間情報を算出する。
25

ステップ S44において、DSP 7 は、算出した現フレームの広 DR カラー画像 L に対する中間情報を用いて、保持していた 1 フレーム前の広 DR カラー画像に

に対する中間情報を更新する。

ステップ S 4 5において、DSP 7は、入力された現フレームの広D R カラー画像に、後続するフレームが存在するか否かを判定し、後続するフレームが存在すると判定した場合、ステップ S 4 1に戻り、それ以降の処理を繰り返す。反対に、
5 後続するフレームが存在しないと判定された場合、この階調圧縮処理は終了される。

ステップ S 4 2における画素単位の処理の詳細を、図 3 0 のフローチャートを参照して説明する。以下に説明する各ステップの処理は、ラスタ順に入力される注目画素（画素位置 p）に対して実行される。

10 ステップ S 5 1において、色バランス調整部 2 0 2は、生成した色信号 [$R_b(p)$, $G_b(p)$, $B_b(p)$] を、対数変換部 2 0 3に出力する。ステップ S 5 2において、対数変換部 2 0 3は、入力された色信号 [$R_b(p)$, $G_b(p)$, $B_b(p)$] を対数変換し、得られた対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] を複合部 3 0 0に出力する。

15 ステップ S 5 3において、複合部 3 0 0の輝度生成部 3 0 1は、入力された対数色信号 [$\log R_b(p)$, $\log G_b(p)$, $\log B_b(p)$] の線形和を演算することにより対数輝度 $\log L_b(p)$ を生成し、減算器 3 0 2-R 乃至 3 0 2-B およびテーブル参照部 3 0 4に出力する。ステップ S 5 4において、テーブル参照部 3 0 4は、入力された対数輝度 $\log L_b(p)$ を、LUT メモリ 3 0 3に保持されている
20 LUTに基づいて対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ に補正して、乗算器 3 0 5および縮小画像生成部 3 0 6に出力する。

25 ステップ S 5 5において、縮小画像生成部 3 0 6は、トーンカーブ補正後の 1 フレーム分の対数輝度 $\log L_{c'}(p)$ を元に、第 1 の縮小画像を生成する。ここで、生成された第 1 の縮小画像に基づき、代表値 γ_2 が算出される。また、生成された第 1 の縮小画像に算出された代表値 γ_2 が乗算されて、第 2 の縮小画像 $\log L_{c_1}$ が生成される。

ステップ S 5 6において、乗算器 3 0 5は、テーブル参照部 3 0 4から入力さ

れた現フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に、 γ_2 メモリ 310 に保持されている 1 フレーム前の代表値 γ_2 を乗算して、トーンカーブ補正後の対数輝度 $\log L_c(p)$ を算出する。

ステップ S57において、R 成分については減算器 302-R、乗算器 316-R、および加算器 317-R の演算により、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log R_c(p)$ が生成される。G 成分については減算器 302-G、乗算器 316-G、および加算器 317-G の演算により、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log G_c(p)$ が生成される。B 成分については減算器 302-B、乗算器 316-B、および加算器 317-B の演算により、トーンカーブ補正後の対数色信号 $\log B_c(p)$ が生成される。

ステップ S58において、ゲイン値設定部 315 は、乗算器 311 から入力された前フレームに対する代表値 γ と、乗算器 305 から入力された現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ に基づいて、現在フレームの対数輝度 $\log L_c(p)$ のコントラスト強調量を決めるゲイン値 $g(p)$ を算出する。ステップ S59において、補間部 314 は、第 2 の縮小画像メモリ 313 に保持されている 1 フレーム前の第 2 の縮小画像 $\log L_{c1}$ を用いて、補間位置 p に対応する画素 $\log L_{c1}(p)$ を補間ににより算出する。

ステップ S60において、R 成分については減算器 318-R、乗算器 319-R、および加算器 320-R の演算により、コントラスト補正後の対数色信号 $\log R_u(p)$ が生成される。G 成分については減算器 318-G、乗算器 319-G、および加算器 320-G の演算により、コントラスト補正後の対数色信号 $\log G_u(p)$ が生成される。B 成分については減算器 318-B、乗算器 319-B、および加算器 320-B の演算により、コントラスト補正後の対数色信号 $\log B_u(p)$ が生成される。

ステップ S61において、対数逆変換部 208 は、コントラスト補正後の対数色信号 [$\log R_u(p)$, $\log G_u(p)$, $\log B_u(p)$] を、対数逆変換して、通常軸の色信号 [$R_u(p)$, $G_u(p)$, $B_u(p)$] を生成し、ガンマ補正部 209 に出

力する。ステップ S 6 2において、ガンマ補正部 2 0 9は、所定のガンマ補正を行い、得られたガンマ補正後の色信号 [$R_g(p)$, $G_g(p)$, $B_g(p)$] を輝度情報算出部 2 1 0および輝度域正規化部 2 1 2に出力する。

5 ステップ S 6 3において、輝度域情報算出部 2 1 0の輝度生成部 3 3 1は、ガ
ンマ補正後の色信号 [$R_g(p)$, $G_g(p)$, $B_g(p)$] を元にして輝度 $Y(p)$ を生成する。ステップ S 6 4において、輝度域情報算出部 2 1 0の MIN ソート部 3 3 3および MAX ソート部 3 3 6は、1 フレーム分の輝度 $Y(p)$ を元にして、輝度域情報 [Y_a , Y_b] を生成する。

10 ステップ S 6 5において、輝度域正規化部 2 1 2は、輝度域情報メモリ 2 1 1 に保持されている1 フレーム前の輝度域情報 [Y_a , Y_b] に基づき、ガンマ補正部 2 0 9から入力された色信号 [$R_g(p)$, $G_g(p)$, $B_g(p)$] を正規化して、色信号 [$R_n(p)$, $G_n(p)$, $B_n(p)$] を算出する。ステップ S 6 6において、輝度域正規化部 2 1 2は、算出した色信号 [$R_n(p)$, $G_n(p)$, $B_n(p)$] を、階調圧縮された狭 DR カラー画像の画素値として出力する。以上で、図 2 9 のス
15 テップ S 4 3 处理の詳細な説明を終了する。

次に、図 2 9 のステップ S 4 4 の処理の詳細を、図 3 1 のフローチャートを参
照して説明する。ステップ S 7 1において、縮小画像生成部 3 0 6は、トーンカ
ーブ補正後の1 フレーム分の対数輝度 $\log L_{\alpha}(p)$ を元に生成した第 1 の縮小
画像を用いて、第 1 の縮小画像メモリ 3 0 7に保持されている第 1 の縮小画像を
20 更新する。

ステップ S 7 2において、除算器 3 0 9は、所定の定数 $\log L_T$ を、平均輝度算
出部 1 6 5から入力された平均値 μ で除算して代表値 γ_2 を算出し、算出した代
表値 γ_2 を用いて、 γ_2 メモリ 3 1 0に保持されている代表値 γ_2 を更新する。

25 ステップ S 7 3において、乗算器 3 1 2は、ステップ S 7 1 の処理で更新され
た第 1 の縮小画像メモリ 3 0 7に保持されている第 1 の縮小画像の各画素に、ス
テップ S 7 2 の処理で更新された γ_2 メモリ 3 1 0に保持されている代表値 γ_2 を乘算して、第 2 の縮小画像 $\log L_{\beta}$ を生成し、第 1 の縮小画像メモリ 3 1 3に

保持されている第2の縮小画像 $\log L_{c_1}$ を更新する。

ステップ S 7 4において、輝度域情報算出部 2 1 0は、1フレーム分の [$R_g(p)$, $G_g(p)$, $B_g(p)$] を元にして生成した輝度域情報 [Y_a , Y_b] を用いて、輝度域情報メモリ 2 1 1に保持されている1フレーム前の輝度域情報 [Y_d , Y_b] を更新する。以上で、図 2 9 のステップ S 4 4 の処理の詳細な説明を終了する。

以上で、DSP 7 の第2の構成例の説明を終了する。

なお、例えば、図 5 に示された平均輝度算出部 5 1、図 6 に示された平均輝度算出部 6 3、図 1 7 の平均輝度算出部 1 6 5、図 2 3 に示された平均輝度算出部 2 3 2、図 2 4 に示された平均輝度算出部 2 4 5 のそれぞれにおいては、輝度値の平均値を算出するようにしたが、平均値を求める演算に、重み付き平均を用いるようにしてもよい。例えば、画像の中央部分の重みを周辺部分の重みよりも大きくすることによって、画像の中央部分に存在する被写体の反射率に重点をおいた明るさ補正を行うことが可能になる。

図 1 7 に示された複合部 1 6 0 および図 2 7 に示された複合部 3 0 0においては、生成された第1の縮小画像を保持するメモリと、生成された第1の縮小画像に代表値 γ_2 を乗算して生成された第2の縮小画像を保持するメモリが設かれているが、第2の縮小画像が生成された時点で、第1の縮小画像を保持する必要がなくなるので、この2つのメモリを1つにまとめることも可能である。

本実施の形態のように、本発明を、広DR画像を撮影し、その階調を圧縮して、狭いダイナミックレンジのディスプレイに表示可能な画像として出力するデジタルビデオカメラに適用すれば、従来の階調圧縮技術に必要であった大量のメモリ（フレームメモリや画素系列データのディレイラインとして使用される）を大幅に削減した構成で階調圧縮処理を実現でき、かつ、従来大きなフィルタ処理をもって実現されていた階調圧縮処理と遜色のない出力画像を得ることができるようになる。

このことによって、今まで実現できなかった高品質、かつ、安価なデジタ

ルビデオカメラを実現することができる。

なお、本実施の形態においては、広D R画像を、ディスプレイ 1 1 を再現デバイスに想定して、階調圧縮処理を施すようにしたが、例えば、デジタルビデオカメラ 1 に外部接続するにモニタやプリンタの表現可能なダイナミックレンジに適合させて階調圧縮処理を施すことも可能である。
5

次に、図 3 2 は、本発明を適用した画像処理システムの構成例を示している。この画像処理システム 5 0 1 は、被写体を撮影し、通常よりも広いダイナミックレンジの画素値（輝度）を有する画素から構成される広D R画像 L を生成するビデオカメラ 5 0 2、ビデオカメラ 5 0 2 によって生成された広D R画像 L の階調を、ディスプレイ 5 1 1 が表示可能な階調の範囲に圧縮する画像処理装置 5 1 0、および画像処理装置 5 1 0 によって生成される階調圧縮画像 L_u を表示するディスプレイ 1 1 から構成される。
10

ビデオカメラ 5 0 2 は、被写体の光画像を集光するレンズ 5 0 3、光画像の光量を調整する絞り 5 0 4、集光された光画像を光電変換して輝度信号を生成する CCD イメージセンサ 5 0 5、生成された輝度信号からノイズ成分を除去する前置增幅器(Pre-amp.) 5 0 6、ノイズ成分が除去された輝度信号を、例えば 1 4 乃至 15 1 6 ビット程度のビット幅のデジタルデータに変換する A/D コンバータ (A/D) 5 0 7、およびデジタル化された輝度を有する画素から構成される広D R画像 L を画像処理装置 5 1 0 に出力する I/O インタフェース (I/O) 5 0 8 から構成される。
20

図 3 2 は、画像処理システム 1 の動作概要を示している。ステップ S 1 0 1 において、ビデオカメラ 5 0 2 は、被写体を撮影し、対応する広D R画像 L を生成して、画像処理装置 5 1 0 に出力する。ステップ S 1 0 2 において、画像処理装置 5 1 0 は、広D R画像 L に階調圧縮処理を施して階調圧縮画像 L_u を生成し、25 ディスプレイ 5 1 1 に出力する。ステップ S 1 0 3 において、ディスプレイ 5 1 1 は、階調圧縮画像 L_u を表示する。

次に、図 3 4 は、画像処理装置 5 1 0 の第 1 の構成例を示している。画像処理

装置 510 のトーンカーブ補正部 521 は、ビデオカメラ 502 から入力される広DR画像 L を、予め用意されているトーンカーブに基づいて、階調を圧縮する方向に補正し、その結果として得られるトーンカーブ補正画像 L_c を、平滑化輝度生成部 522、ゲイン値設定部 523、およびコントラスト補正部 524 に出力する。なお、このトーンカーブ補正画像 L_c は、階調が圧縮されており、階調が圧縮されたことに起因して、コントラストが弱められたものとなっている。また、トーンカーブ補正部 521 は、補正に用いたトーンカーブの傾きを示す代表値 γ をゲイン値設定部 523 に出力する。

図 35 は、トーンカーブ補正部 521 の構成例を示している。トーンカーブ補正部 521 の LUT メモリ 531 には、図 36 に示すような単調増加のトーンカーブに相当するルックアップテーブル（以下、LUT と記述する）と、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ が予め保持されている。なお、LUT の代わりに、トーンカーブに相当する関数を保持するようにしてもよい。テーブル参照部 532 は、LUT メモリ 531 に保持されている LUT に基づき、広DR画像 L を、トーンカーブ補正画像 L_c に補正する。

図 36 は、トーンカーブの一例を示しており、横軸が広DR画像 L の輝度を、縦軸が補正後のトーンカーブ補正画像 L_c の輝度を、それぞれ [0, 1] に正規化して表示している。図 36 に示されたトーンカーブは、正規化された広DR画像 L の輝度値が 0.5 よりも大きい場合にはその値を補正せず、正規化された広DR画像 L の輝度値が 0.5 よりも小さい場合には、その値が小さいほど、大きな補正量で補正する。つまり、ディスプレイ 511 に表示されたとき、画像の中の暗い領域が黒くつぶれないように補正が行われる。なお、トーンカーブの傾きを示す代表値 γ は、例えば、輝度全域の傾きをそれぞれ求めて、それらの平均値を代表値 γ とすればよい。例えば、図 36 に示されたトーンカーブの代表値は、
25 $\gamma = 0.94$ である。

図 34 に戻る。平滑化輝度生成部 522 は、トーンカーブ補正画像 L_c の輝度を平滑化し、得られる平滑化画像の輝度 L_s(p) をコントラスト補正部 24 に

出力する。図37は、平滑化輝度生成部22の構成例を示している。

平滑化輝度生成部522の縮小画像生成部541は、トーンカーブ補正部521から入力されたトーンカーブ補正画像 L_c の画素を、その画素位置に対応して $m \times n$ ブロックに分類し、各ブロックに分類された画素の輝度の平均値を画素とする縮小画像 L_{c1} を生成する。縮小画像メモリ542は、生成された $m \times n$ 画素の縮小画像 L_{c1} を保持する。補間部543は、順次指定される画素位置 p の輝度を、縮小画像メモリ542に保持されている縮小画像の画素を用いた補間処理により算出して、得られた補間値 $L_{c1}(p)$ を、平滑化画像の画素の輝度としてコントラスト補正部524に出力する。ここで、 $p = (x, y)$ は、画素位置を示す座標またはベクトルである。従って、補間部543から出力される平滑化画像のサイズは、トーンカーブ補正画像 L_c のサイズは同一である。

すなわち、平滑化輝度生成部522では、トーンカーブ補正画像 L_c が縮小されて縮小画像 L_{c1} が生成され、保持された縮小画像 L_{c1} が利用されて平滑化画像の輝度 $L_{c1}(p)$ が1画素ずつ補間演算によって算出されることになる。

従来では、上述したように、効果的な階調圧縮処理を実施するためには比較的大きなサイズのフィルタ処理が必要であったが、平滑化輝度生成部522では、 $m \times n$ 画素の縮小画像を保持する縮小画像メモリ542を設ければ済むことになる。

図38は、図37の縮小画像生成部541の構成例を示している。縮小画像生成部541のソート部551は、前段のトーンカーブ補正部521から入力されたトーンカーブ補正画像 L_c の画素を、その画素位置に応じて $m \times n$ 個のブロックに分類し、平均値計算部552-1乃至552-N ($= m \times n$) に供給する。例えば、1番目のブロックに分類されたものは平均値計算部552-1に供給され、2番目のブロックに分類されたものは平均値計算部552-2に供給される。以下同様であり、N番目のブロックに分類されたものは平均値計算部552-Nに供給される。以下、平均値計算部552-1乃至552-Nを個々に区別する必要がない場合、単に平均値計算部552と記述する。

平均値計算部 552-i ($i = 1, 2, \dots, N$) は、 i 番目のブロックに分類されたトーンカーブ補正画像 L_i の画素の輝度の平均値を算出して、合成部 553 に出力する。合成部 553 は、平均値計算部 552-i からそれぞれ入力される輝度の平均値を画素値とする $m \times n$ 画素の縮小画像を生成する。

5 図 39 は、図 38 の平均値計算部 552 の構成例を示している。平均値計算部 552 の加算器 561 は、レジスタ (r) 562 が保持する値に、前段のソート部 551 から入力されるトーンカーブ補正画像 L_i の輝度を加算することにより、レジスタ 562 が保持する値を更新する。除算器 563 は、レジスタ 562 が最終的に保持している値を、1 個のブロックを構成する画素数 Q で除算することにより、1 個のブロックに分類された Q 個の画素の輝度の平均値を算出する。

10 図 40 は、図 37 の補間部 543 の構成例を示している。補間部 543 の近傍選択部 571 は、補間位置 p の入力を受けて、縮小画像メモリ 542 に保持されている $m \times n$ 画素の縮小画像 L_i から、補間位置 p の近傍の 4×4 画素の輝度 $a[4][4]$ を取得して、積和部 574 に出力する。

15 ここで $a[i][j]$ の表記は、輝度 a が $i \times j$ の 2 次元配列データであることを示す。また、近傍選択部 571 は、取得した輝度 $a[4][4]$ と補間位置 p との水平方向の位置ずれ量 d_x 、垂直方向の位置ずれ量 d_y を、それぞれ、水平係数算出部 572 または垂直係数算出部 573 に出力する。

20 なお、補間位置 p 、近傍の輝度 $a[4][4]$ 、位置ずれ量 d_x, d_y の関係は、図 11 を参照して上述したものと同様であるので、その説明は省略する。

水平係数算出部 572 は、近傍選択部 71 から入力された水平方向ずれ量 d_x に基づき、水平方向の 3 次補間係数 $k_x[4]$ を計算する。同様に、垂直係数算出部 573 は、近傍選択部 571 から入力された垂直方向ずれ量 d_y に基づき、垂直方向の 3 次補間係数 $k_y[4]$ を計算する。

25 例えば、水平方向の 3 次補間係数 $k_x[4]$ は、上述した式 (1) を用いて計算する。

また、例えば、垂直方向の 3 次補間係数 $k_y[4]$ は、上述した式 (2) を用いて

計算する。

なお、3次補間係数 $k_x[4]$, $k_y[4]$ の計算には、上述した式(1), (2)の他、十分に滑らかな補間が得られるならば、任意の計算式を用いることができる。

積和部 574 は、近傍の画素の輝度 $a[4][4]$ と、水平方向の補間係数 $k_x[4]$ および垂直方向の補間係数 $k_y[4]$ との積和計算により、縮小画像 L_{c_1} の補間位置 p の補間値 $L_{c_1}(p)$ を、上述した式(3)を用いて算出する。

図34に戻る。ゲイン設定部 523 は、トーンカーブ補正部 521 から入力される代表値 γ に基づき、コントラスト補正部 524において平滑化画像の輝度 $L_{c_1}(p)$ のコントラストを補正するときの補正量を調整するゲイン値 $g(p)$ を各画素位置に対して算出し、コントラスト補正部 524 に出力する。

ここで、ゲイン値 $g(p)$ について説明する。ゲイン値 $g(p) = 1$ である場合、コントラスト補正部 524においてコントラストは強調も抑制も行われない。ゲイン値 $g(p) > 1$ である場合、その値に対応してコントラストが強調される。反対に、ゲイン値 $g(p) < 1$ である場合、その値に対応してコントラストが抑制される。

なお、ゲイン設定部 523 によるゲイン値設定の概略については、上述したゲイン設定部 93 によるゲイン値設定の概略と同様であるのでその説明は省略する。

図41は、ゲイン値設定部 523 の構成例を示している。除算器 581 は、前段から入力される代表値 γ の逆数 $1/\gamma = g_0$ を算出して減算器 582 に出力する。減算器 582 は、 $(g_0 - 1)$ を演算して乗算器 588 に出力する。

減算器 583 は、トーンカーブ補正画像 L_c の各輝度と、中庸なグレイレベルの輝度 L_{gray} の差 ($L_c - L_{gray}$) を演算して、除算器 585 に出力する。減算器 584 は、白クリップレベルの輝度 L_{white} と、輝度 L_{gray} の差 ($L_{white} - L_{gray}$) を演算して、除算器 585 に出力する。除算器 585 は、減算器 583 の出力 ($L_c - L_{gray}$) を、減算器 584 の出力 ($L_{white} - L_{gray}$) で除算して、絶対値計算器 586 に出力する。絶対値計算器 586 は、除算器 585 の

出力の絶対値を計算してクリップ器 587 に出力する。クリップ器 587 は、絶対値計算器 586 の出力が 1 を超過する場合、その値を 1 にクリッピングし、絶対値計算器 586 の出力が 1 を超過しない場合、その値をそのまま、 $\text{attn}(p)$ として乗算器 588 に出力する。

5 乘算器 588 は、減算器 582 の出力に、クリップ器 587 の出力を乗算して、加算器 589 に出力する。加算器 589 は、乗算器 588 の出力に 1 を加算し、演算結果をゲイン値 $g(p)$ として後段に出力する。

10 図 34 に戻る。コントラスト補正部 524 は、ゲイン値設定部 523 から入力される各画素位置 p のゲイン値 $g(p)$ および平滑化輝度生成部 522 から入力される平滑化画像の輝度 $L_{c_1}(p)$ に基づき、コントラストが弱められているトーンカーブ補正画像 L_c のコントラストを強調して階調圧縮画像 L_u を生成する。

15 図 42 は、コントラスト補正部 524 の構成例を示している。コントラスト補正部 524 の減算器 591 は、トーンカーブ補正画像 L_c の各画素の輝度 $L_c(p)$ と、平滑化画像の対応する画素の輝度（すなわち、縮小画像の補間値 $L_{c_1}(p)$ ）との差 ($L_c(p) - L_{c_1}(p)$) を演算して、乗算器 592 に出力する。乗算器 592 は、減算器 591 の出力と、ゲイン値設定部 523 から入力されたゲイン値 $g(p)$ との積を演算して、加算器 593 に出力する。加算器 593 は、乗算器 592 の出力に、平滑化画像の画素の輝度（縮小画像の補間値 $L_{c_1}(p)$ ）を加算して、その結果得られた輝度 $L_u(p)$ を、コントラスト補正がなされた階調圧縮画像 L_u を構成する画素の輝度として後段に出力する。

なお、平滑化画像の画素の輝度（縮小画像の補間値 $L_{c_1}(p)$ ）は、 $m \times n$ 画素の縮小画像 L_c の画素を元にして補間された値であるから、縮小前のトーンカーブ補正画像 L_c のごく低周波域成分だけをもつものである。

25 従って、減算器 591 の出力 ($L_c(p) - L_{c_1}(p)$) は、元のトーンカーブ補正画像 $\log L_c$ から、ごく低域成分だけを差し引いたものとなる。このように輝度信号を、ごく低周波域の成分とそれ以外の成分に分離し、そのうち、低周波域成分以外（減算器 591 の出力）を、ゲイン値 $g(p)$ を乗算することによって

コントラストを強調した後、再び加算器 593 により合成したものが、コントラスト補正がなされた階調圧縮画像の輝度 $L_u(p)$ である。

このように、コントラスト補正部 524 では、ごく低周波域を除く、低中周波域から高周波域の成分が同じゲイン値 $g(p)$ で強調されるようになされている。
5 従って、コントラスト補正がなされた階調圧縮画像の輝度 $L_u(p)$ は、高周波域だけを強調したときに目立つ、エッジ部分の局所的なオーバーシュートは発生せず、見た目にもごく自然にコントラストが強調された画像が得られるようになされている。

次に、画像処理装置 510 の第 1 の構成例による階調圧縮画像生成処理（すな
10 わち、図 33 のフローチャートを参照して上述したステップ S102 の処理）の詳細について、図 43 のフローチャートを参照して説明する。

ステップ S111において、トーンカーブ補正部 521 は、ビデオカメラ 502 から入力された広 DR 画像 L の輝度を、予め用意されている LUT に基づいて補正し、その結果として得られるトーンカーブ補正画像 L_t を、平滑化輝度生成部 522、ゲイン値設定部 523、およびコントラスト補正部 524 に出力する。
15 また、トーンカーブ補正部 521 は、補正に用いたトーンカーブの傾きを示す代表値 γ をゲイン値設定部 523 に出力する。

ステップ S112において、平滑化輝度生成部 522 は、トーンカーブ補正画像 L_t を縮小して、縮小画像 L_{t1} を生成し、さらに、縮小画像 L_{t1} の画素を用いた補間演算により、平滑化画像の画素の輝度 $L_{t1}(p)$ を算出して、コントラスト補正部 524 に出力する。
20

ステップ S113において、ゲイン設定部 523 は、トーンカーブ補正部 521 から入力された代表値 γ に基づき、コントラスト補正部 524 において平滑化画像の輝度 $L_{t1}(p)$ のコントラストを補正するときの補正量を調整するゲイン値 $g(p)$ を各画素位置に対して算出し、コントラスト補正部 524 に出力する。
25

なお、ステップ S112 の処理と、ステップ S113 の処理は、並行して実施することが可能である。

ステップ S 11.4において、コントラスト補正部 524 は、ゲイン値設定部 523 から入力された各画素位置 p のゲイン値 $g(p)$ および平滑化輝度生成部 522 から入力される平滑化画像の輝度 $L_u(p)$ に基づき、トーンカーブ補正画像 L_u の輝度を補正して、階調圧縮画像 L_u の画素の輝度 $L_u(p)$ を算出する。

5 このようにして得られた、コントラスト補正がなされた階調圧縮画像 L_u は、高周波域だけを強調したときに目立つ、エッジ部分の局所的なオーバーシュートは発生せず、見た目にもごく自然にコントラストが強調された画像となる。以上で、画像処理装置 510 の第 1 の構成例による階調圧縮画像生成処理の説明を終了する。

10 次に、図 44 は、画像処理装置 510 の第 2 の構成例を示している。この第 2 の構成例は、図 34 に示された第 1 の構成例のトーンカーブ補正部 521 の上段に、ビデオカメラ 501 から入力される広 DR 画像 L の輝度を対数変換する対数変換部 601 を設け、さらに、第 1 の構成例のコントラスト補正部 524 の下段に、コントラスト補正部 524 の出力を対数逆変換する対数逆変換部 602 を設けたものである。

15 画像処理装置 510 の第 2 の構成例を構成する対数変換部 601 および対数逆変換部 602 以外の構成要素については、図 34 の第 1 の構成例と同等であって、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。ただし、第 2 の構成例において、トーンカーブ補正部 521 乃至コントラスト補正部 524 は、それぞれ対数変換された輝度を処理することになる。

20 第 2 の構成例におけるトーンカーブ補正部 521 では、例えば、図 4 に示されたトーンカーブが適用される。図 4 の例のように、単調増加であって、緩やかな逆 S 字形のトーンカーブを適用すると、高輝度領域と低輝度領域では、階調圧縮があまり強く作用しないので、階調圧縮後でも白ツブレや黒ツブレが少ない良好な色調が得られる。逆に中間輝度域は階調圧縮が強く作用するが、その分だけ、中間輝度域に対しては、コントラスト補正が十分に適用されるので、中間輝度域でもコントラスト劣化のない良好な階調圧縮画像 L_u を得ることができる。この

トーンカーブの場合、代表値 $\gamma = 0.67$ である。

次に、画像処理装置 510 の第 2 の構成例による階調圧縮画像生成処理の詳細について、図 45 のフローチャートを参照して説明する。

ステップ S121において、対数変換部 601 は、ビデオカメラ 502 から入力された広 DR 画像 L の輝度を対数変換し、その結果得られた対数広 DR 画像 log L をトーンカーブ補正部 521 に出力する。
5

ステップ S122において、トーンカーブ補正部 521 は、対数広 DR 画像 log L の輝度を、予め用意されている、例えば、図 4 に示されたトーンカーブに相当する LUT に基づいて補正し、その結果として得られた対数トーンカーブ補正画像 log L_c を、平滑化輝度生成部 522、ゲイン値設定部 523、およびコントラスト補正部 524 に出力する。また、トーンカーブ補正部 521 は、補正に用いたトーンカーブの傾きを示す代表値 γ をゲイン値設定部 523 に出力する。
10

ステップ S123において、平滑化輝度生成部 522 は、対数トーンカーブ補正画像 log L_c を縮小して、対数縮小画像 log L_{c1} を生成し、さらに、対数縮小画像 log L_{c1} の画素を用いた補間演算により、対数平滑化画像の画素の輝度 log L_{c1(p)} を算出して、コントラスト補正部 524 に出力する。
15

ステップ S124において、ゲイン設定部 523 は、トーンカーブ補正部 521 から入力された代表値 γ に基づき、コントラスト補正部 524 において対数平滑化画像の輝度 log L_{c1(p)} のコントラストを補正するときの補正量を調整するゲイン値 g_(p) を各画素位置に対して算出し、コントラスト補正部 524 に出力する。
20

なお、ステップ S123 の処理と、ステップ S124 の処理は、並行して実施することが可能である。

ステップ S125において、コントラスト補正部 524 は、ゲイン値設定部 523 から入力された各画素位置 p のゲイン値 g_(p) および平滑化輝度生成部 522 から入力される対数平滑化画像の輝度 log L_{c1(p)} に基づき、対数トーンカーブ補正画像 log L_c の輝度を補正して、対数階調圧縮画像 log L_u の画素の輝度
25

$\log L_u(p)$ を算出し、対数逆変換部 602 に出力する。

ステップ S126において、対数逆変換部 602 は、対数階調圧縮画像 $\log L_u$ の画素の輝度 $\log L_u(p)$ を対数逆変換して、その結果得られた $L_u(p)$ を階調圧縮画像 L_u の画素の輝度として出力する。

5 このようにして得られた、コントラスト補正がなされた階調圧縮画像 L_u は、高輝度領域と低輝度領域では、階調圧縮があまり強く作用しないので、階調圧縮後でも白ツブレや黒ツブレが少ない良好な色調となる。逆に中間輝度域は階調圧縮が強く作用するが、その分だけ、中間輝度域に対しては、コントラスト補正が十分に適用されるので、中間輝度域でもコントラスト劣化のない良好な画像となる。
10 以上で、画像処理装置 510 の第 2 の構成例による階調圧縮画像生成処理の説明を終了する。

以上説明したように、本発明の一実施の形態である画像処理装置 510 によれば、従来の階調圧縮技術に必要であった大量のメモリ（フレームメモリや画素系列データのディレイラインとして使用される）を大幅に削減した構成で、通常よりも広いダイナミックレンジの輝度を有する広 DR 画像を、見栄得を損なうことなく、表示可能な輝度のダイナミックレンジがより狭いディスプレイ 511 に表示させることができる階調圧縮画像に変換することが可能となる。また、従来大きなフィルタ処理をもって実現されていた階調圧縮処理と遜色のない階調圧縮画像を得ることができる。

20 勿論、画像処理装置 510 は、広 DR 画像を、ディスプレイ 511 以外のプリンタやプロジェクタが表現可能なダイナミックレンジに適合させて、広 DR 画像を階調圧縮画像に変換することが可能である。

なお、本発明は、例えば、デジタルビデオカメラ、デジタルスチルカメラの撮影デバイスの他、ディスプレイ、プリンタ、プロジェクタ等の表現デバイス
25 に内蔵される画像信号処理回路に適用することができる。

ところで、上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行させることもできるが、ソフトウェアにより実行させることもできる。一連の処理をソフトウェア

により実行させる場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータ、または、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパソコン用コンピュータなどに、記録媒体からインストールされる。

5 図46は、汎用のパソコン用コンピュータの構成例を示している。このパソコン用コンピュータ620は、CPU(Central Processing Unit)621を内蔵している。CPU621にはバス624を介して、入出力インターフェース625が接続されている。バス624には、ROM(Read Only Memory)622およびRAM(Random Access Memory)623が接続されている。

10 入出力インターフェース625には、ユーザが操作コマンドを入力するキーボード、マウスなどの入力デバイスよりなる入力部626、処理操作画面や処理結果の画像を表示デバイスに出力する出力部627、プログラムや各種データを格納するハードディスクドライブなどよりなる記憶部628、ビデオカメラ502等と画像データを通信するI/Oインターフェース629が接続されている。また、
15 磁気ディスク631(フレキシブルディスクを含む)、光ディスク632(CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、DVD(Digital Versatile Disc)を含む)、光磁気ディスク633(MD(Mini Disc)を含む)、もしくは半導体メモリ634などの記録媒体に対してデータを読み書きするドライブ630が接続されている。

20 CPU621は、ROM622に記憶されているプログラム、または磁気ディスク631乃至半導体メモリ634から読み出されて記憶部628にインストールされ、記憶部628からRAM623にロードされたプログラムに従って各種の処理を実行する。RAM623にはまた、CPU621が各種の処理を実行する上において必要なデータなども適宜記憶される。

25 なお、本明細書において、記録媒体に記録されるプログラムを記述するステップは、記載された順序に従って時系列的に行われる処理は勿論、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものであ

る。

また、本明細書において、システムとは、複数の装置により構成される装置全体を表すものである。

なお、本明細書には、日本国特許出願 2003-003134（2003年1月9日出願）および 2003-003135（2003年1月9日出願）の特許請求の範囲、明細書、図面、および要約書の全内容が参照され、ここに組み込まれている。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明によれば、使用するメモリの容量がより小さく、演算が少なくて、ハードウェア化が容易であり、かつ、階調圧縮の効果が大きい階調圧縮技術を実現することが可能となる。

また、使用するメモリの容量がより小さく、演算が少なくて、ハードウェア化が容易であり、かつ、適切に画像のコントラストを強調することが可能となる。

請求の範囲

1. 入力画像から縮小画像を生成する縮小画像生成手段と、
前記縮小画像に基づき、前記入力画像の補正情報を取得する補正情報取得手段
と、
5 前記入力画像の階調を変換する階調変換手段と
を含み、
前記階調変換手段は、前記階調の変換を行う前および／または後の処理として、
前記補正情報を用いて前記入力画像のコントラストを補正する
ことを特徴とする画像処理装置。
- 10 2. 前記縮小画像を構成する画素を用いた補間演算により、前記入力画像を構
成する画素の輝度 L_0 を平滑化した平滑化画像を生成する平滑化手段を
さらに含み、
前記階調変換手段は、前記画像を構成する画素の輝度 L_0 、前記平滑化画像を
構成する画素の輝度 L_1 、および所定のゲイン値 g に基づき、コントラスト補正
15 画像を生成する
ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。
- 20 3. 前記縮小画像を構成する画素を用いた補間演算により、前記入力画像を構
成する画素の輝度 L_0 を平滑化した平滑化画像を生成する平滑化手段と、
コントラストを補正するときに用いるゲイン値 g を設定するゲイン値設定手段
と
さらに含み、
前記前記階調変換手段は、前記入力画像を構成する画素の輝度 L_0 、前記平滑
化画像を構成する画素の輝度 L_1 、およびゲイン値 g に基づき、コントラスト補
正画像を生成し、
25 前記ゲイン値設定手段は、前記ゲイン値 g を、入力された初期ゲイン値 g_0 、
基準ゲイン値 1 、並びに、第1の輝度閾値 T_{h_1} 、第2の輝度閾値 T_{h_2} 、および
前記入力画像を構成する画素の前記輝度 L_0 によって算出される減衰値 $attn$ (T

h_1, Th_2, L_c)に基づいて設定する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

4. 前記入力画像を構成する画素の輝度 L を、変換関数に基づいて変換し、トーン変換画像を生成する変換手段と、

5 前記トーン変換画像を構成する画素の輝度 L を平滑化して、平滑化画像を生成する平滑化手段と、

前記変換関数の傾き γ の逆数 $1/\gamma$ である初期ゲイン値 g_0 に基づき、コントラストを補正するときに用いるゲイン値 g を設定するゲイン値設定手段とをさらに含み、

10 前記コントラスト補正手段は、前記トーン変換画像を構成する画素の輝度 L_c 、前記平滑化画像を構成する画素の輝度 L_1 、および前記ゲイン値 g に基づき、コントラスト補正画像を生成し、

前記ゲイン値設定手段は、前記ゲイン値 g を、前記初期ゲイン値 g_0 、基準ゲイン値 1 、並びに、第1の輝度閾値 Th_1 、第2の輝度閾値 Th_2 、および前記トーン変換画像を構成する画素の前記輝度 L_c によって算出される減衰値 $attn$ (Th_1, Th_2, L_c)に基づいて設定する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

5. 前記縮小画像生成手段は、変換関数に基づいて、前記入力画像をトーン変換画像に変換し、前記トーン変換画像を縮小して前記縮小画像を生成し、

20 前記補正情報取得手段は、前記変換関数の傾きを含む補正情報を取得し、

前記階調変換手段は、前記縮小画像、および前記変換関数の傾きに基づき、前記トーン変換画像のコントラストを補正する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

6. 入力画像から縮小画像を生成する縮小画像生成ステップと、

25 前記縮小画像に基づき、前記入力画像の補正情報を取得する補正情報取得ステップと、

前記入力画像の階調を変換する階調変換ステップと

を含み、

前記階調変換ステップは、前記階調の変換を行う前および／または後の処理として、前記補正情報を用いて前記入力画像のコントラストを補正することを特徴とする画像処理方法。

補正書の請求の範囲

[2004年4月15日（15.04.04）国際事務局受理：出願当初の請求の範囲6は補正された；新しい請求の範囲7が加えられた；他の請求の範囲は変更なし。]

h_1, Th_2, L_c ）に基づいて設定する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

4. 前記入力画像を構成する画素の輝度 L を、変換関数に基づいて変換し、トーン変換画像を生成する変換手段と、

5 前記トーン変換画像を構成する画素の輝度 L を平滑化して、平滑化画像を生成する平滑化手段と、

前記変換関数の傾き γ の逆数 $1/\gamma$ である初期ゲイン値 g_0 に基づき、コントラストを補正するときに用いるゲイン値 g を設定するゲイン値設定手段とをさらに含み、

10 前記コントラスト補正手段は、前記トーン変換画像を構成する画素の輝度 L 、前記平滑化画像を構成する画素の輝度 L_1 、および前記ゲイン値 g に基づき、コントラスト補正画像を生成し、

前記ゲイン値設定手段は、前記ゲイン値 g を、前記初期ゲイン値 g_0 、基準ゲイン値 1 、並びに、第1の輝度閾値 Th_1 、第2の輝度閾値 Th_2 、および前記トーン変換画像を構成する画素の前記輝度 L によって算出される減衰値 $attn$ （ Th_1, Th_2, L_c ）に基づいて設定する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

5. 前記縮小画像生成手段は、変換関数に基づいて、前記入力画像をトーン変換画像に変換し、前記トーン変換画像を縮小して前記縮小画像を生成し、

20 前記補正情報取得手段は、前記変換関数の傾きを含む補正情報を取得し、

前記階調変換手段は、前記縮小画像、および前記変換関数の傾きに基づき、前記トーン変換画像のコントラストを補正する

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

6.（補正後） 前記縮小画像生成手段により生成された前記縮小画像、および

25 前記補正手段により取得された前記補正情報を保持する保持手段をさらに含み、

前記保持手段は、1フレーム前の画像に対応する前記縮小画像、および1フレ

ーム前の画像に適用された前記変換関数の傾きを保持し、

前記階調変換手段は、前記保持手段に保持された 1 フレーム前の前記縮小画像および前記変換関数の傾きに基づき、前記トーン変換画像のコントラストを補正する

5 ことを特徴とする特許請求の範囲第 5 項に記載の画像処理装置。

7. (追加) 入力画像から縮小画像を生成する縮小画像生成ステップと、

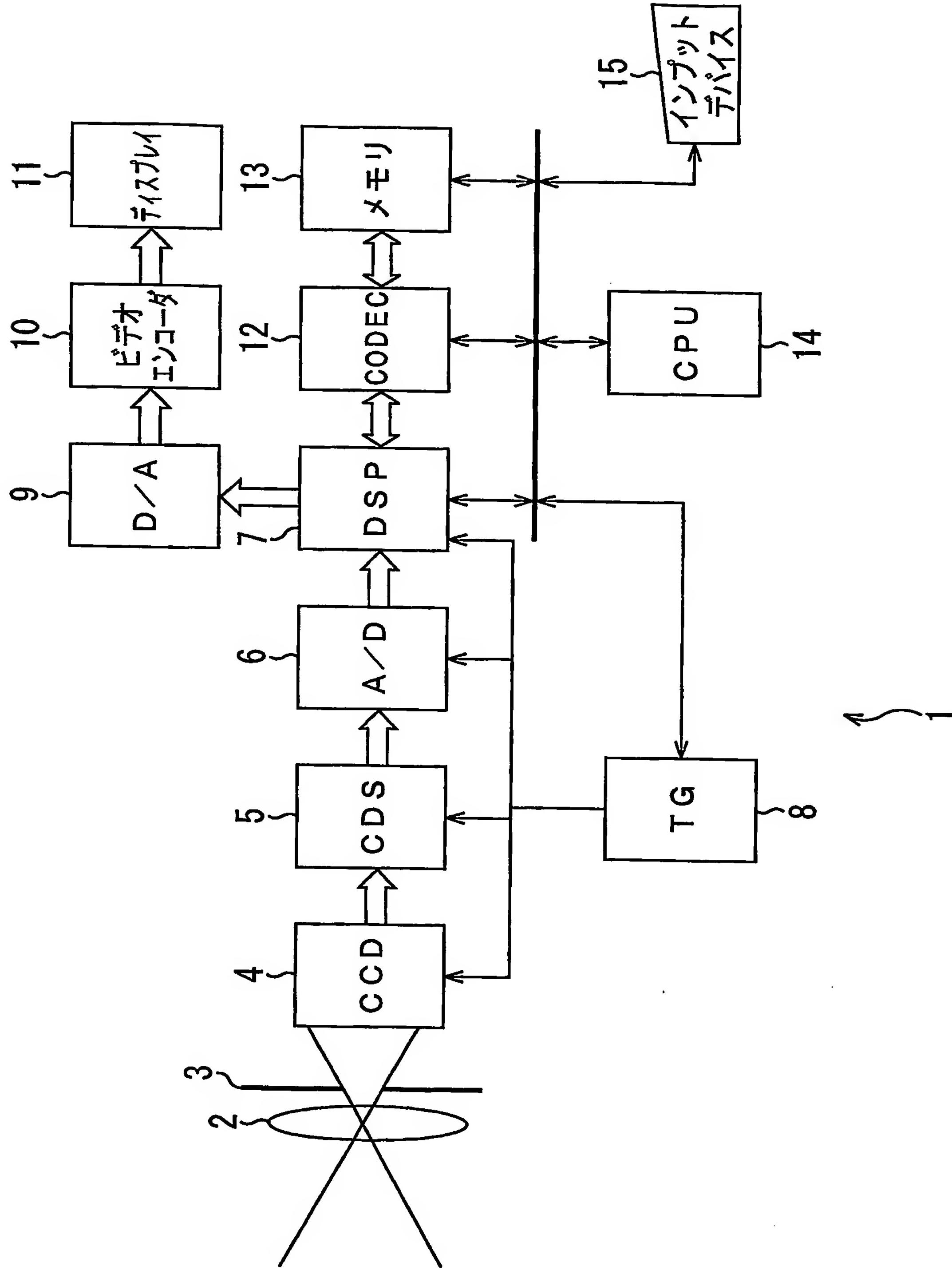
前記縮小画像に基づき、前記入力画像の補正情報を取得する補正情報取得ステップと、

前記入力画像の階調を変換する階調変換ステップと

10 を含み、

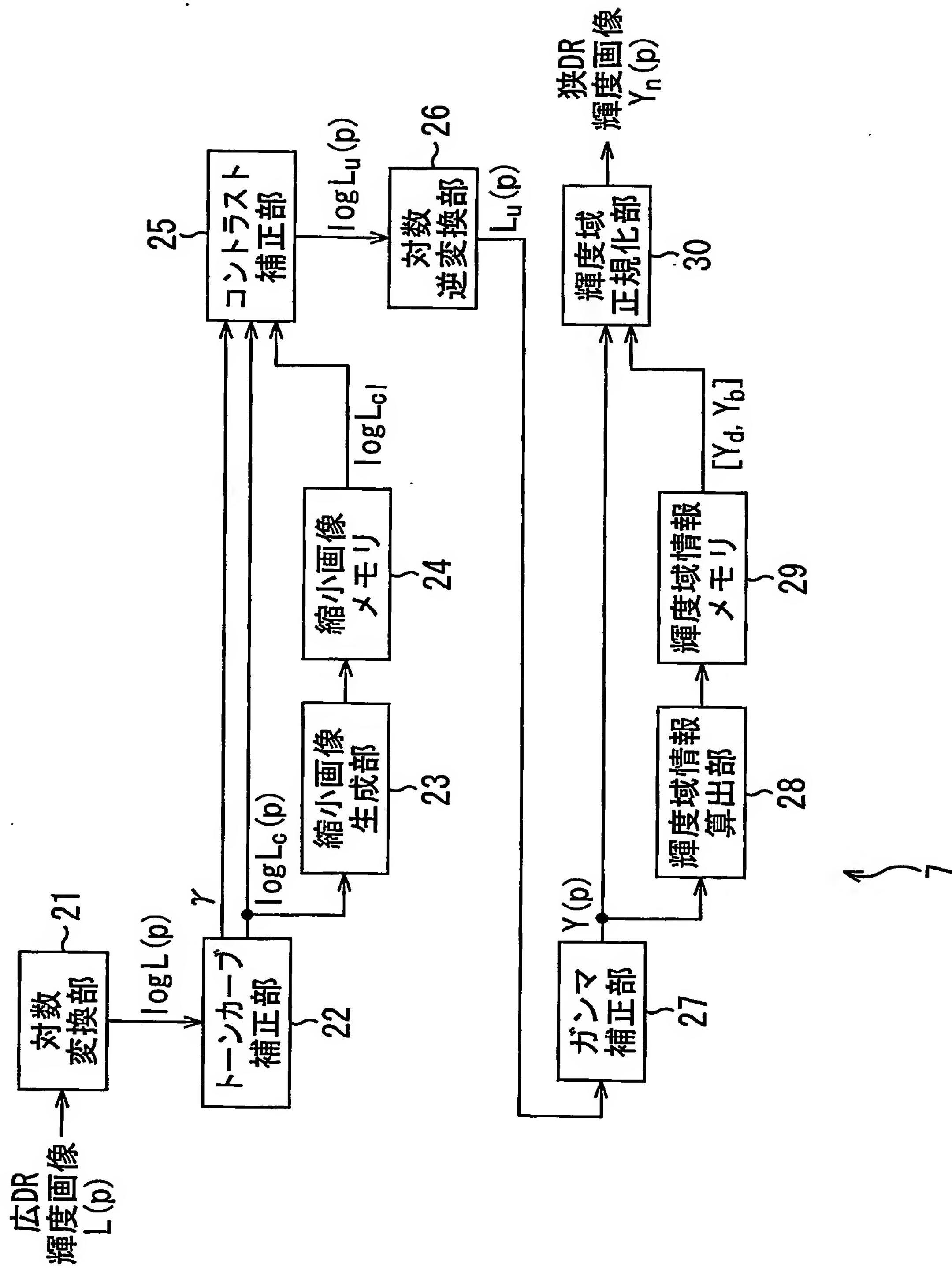
前記階調変換ステップは、前記階調の変換を行う前および／または後の処理として、前記補正情報を用いて前記入力画像のコントラストを補正することを特徴とする画像処理方法。

図 1



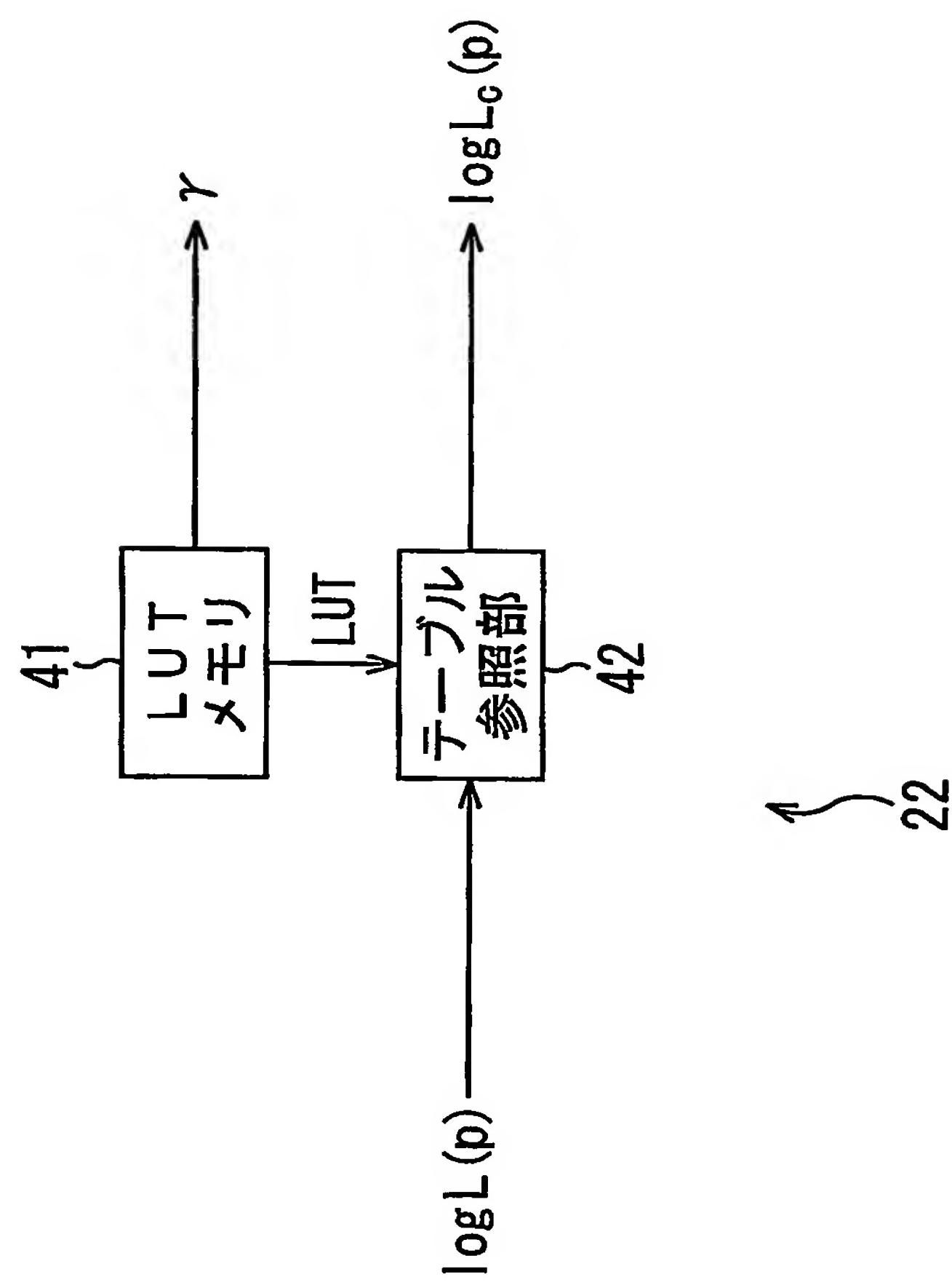
2 / 45

2



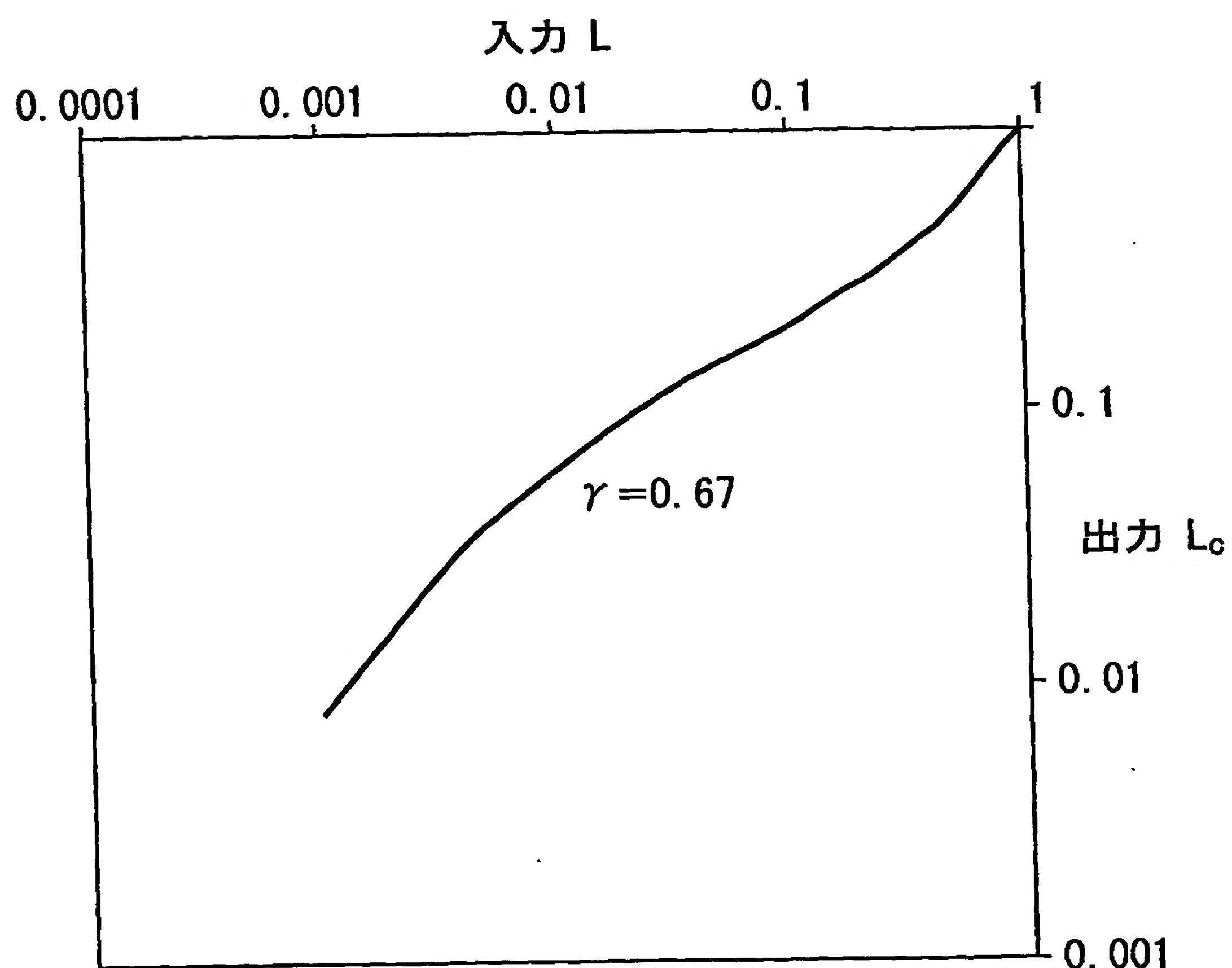
3/45

図 3



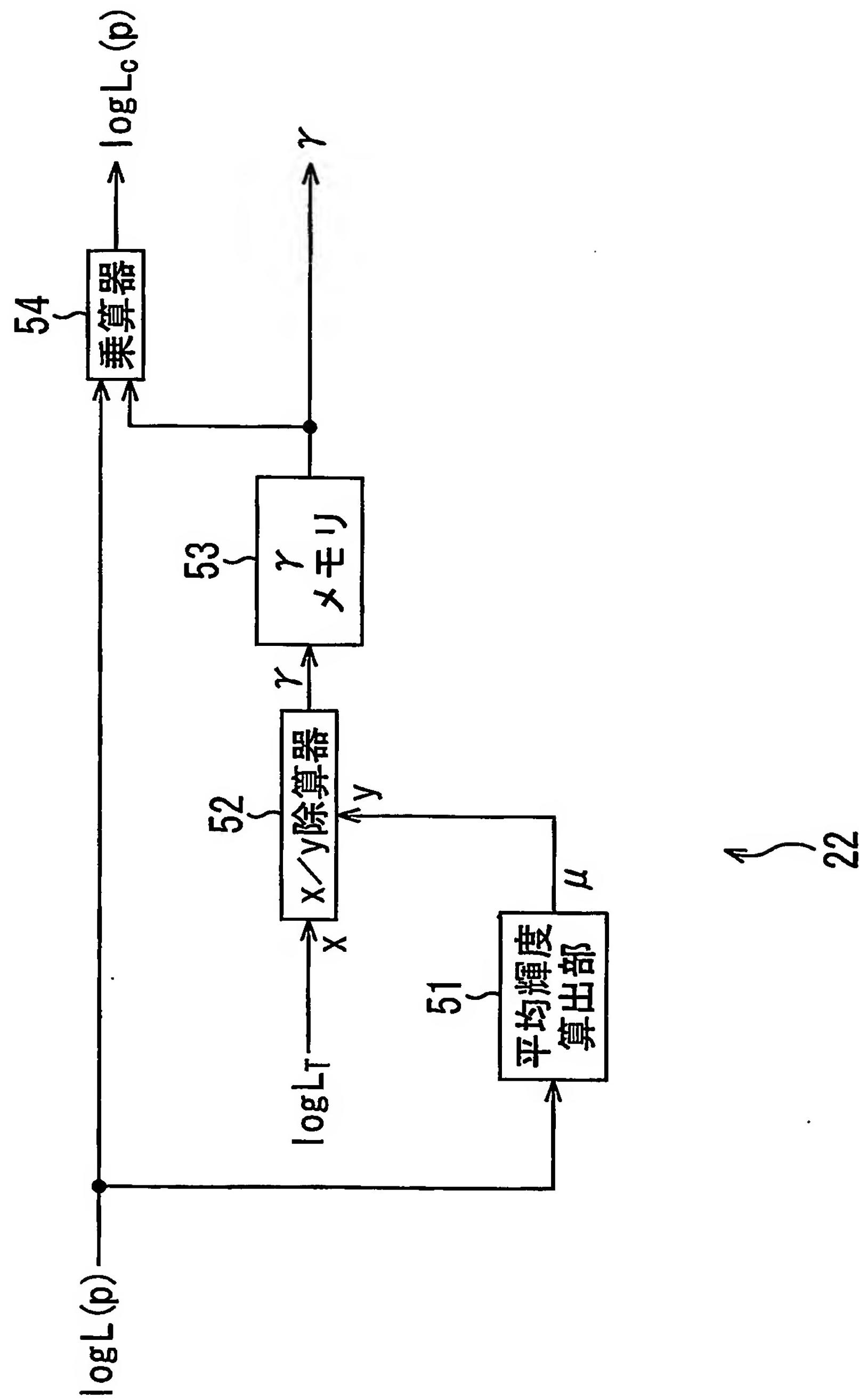
4/45

図 4



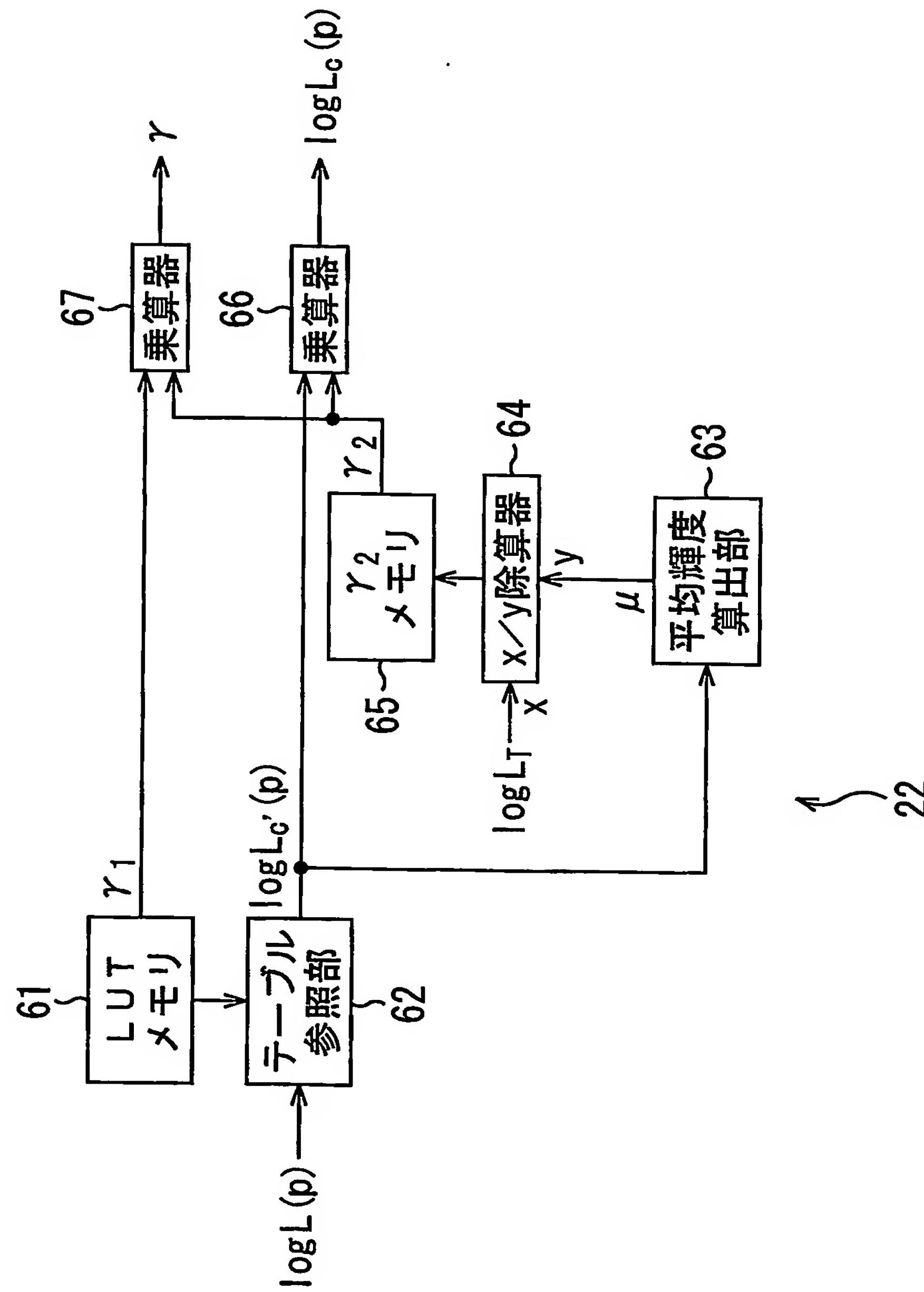
5/45

図 5



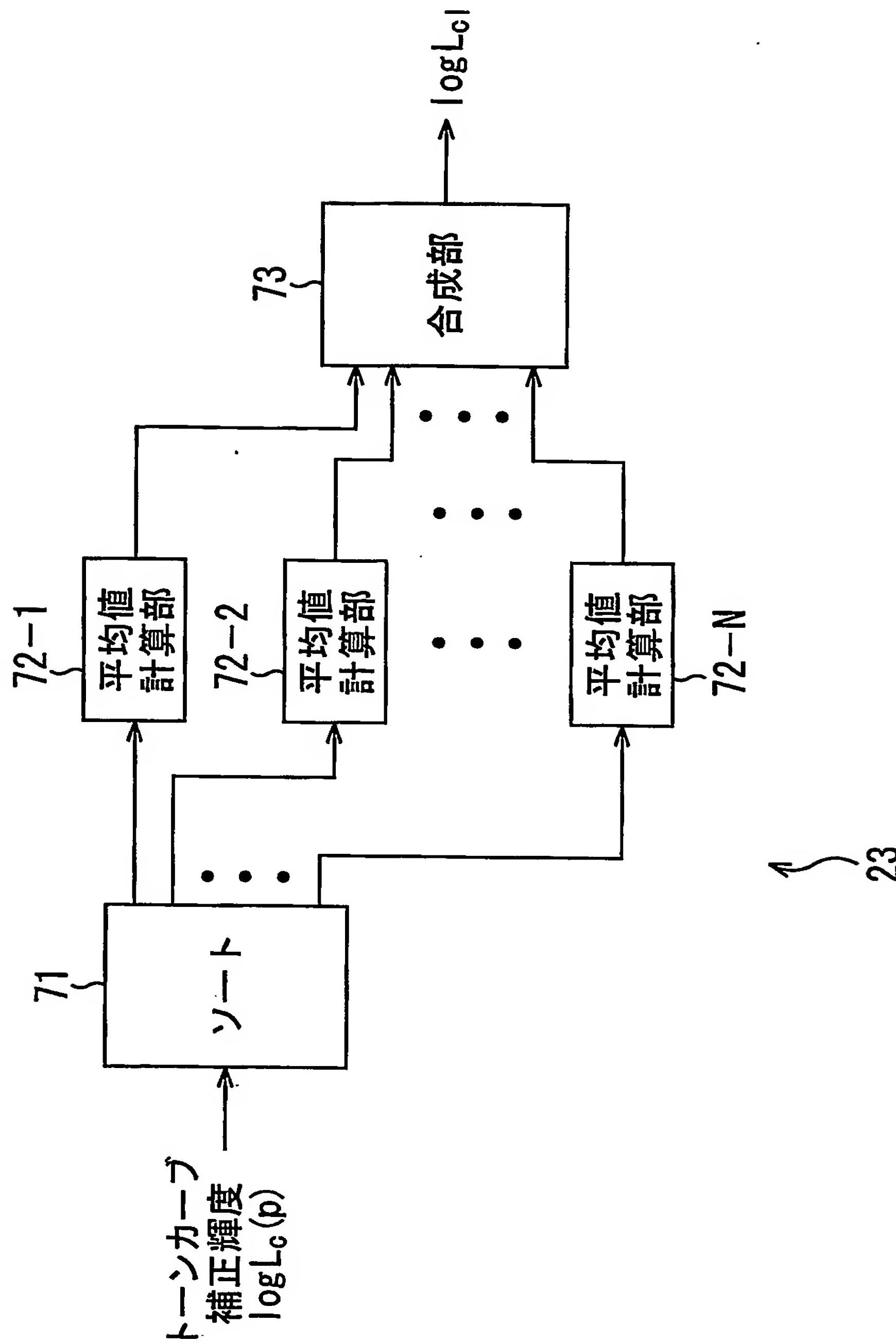
6/45

図 6



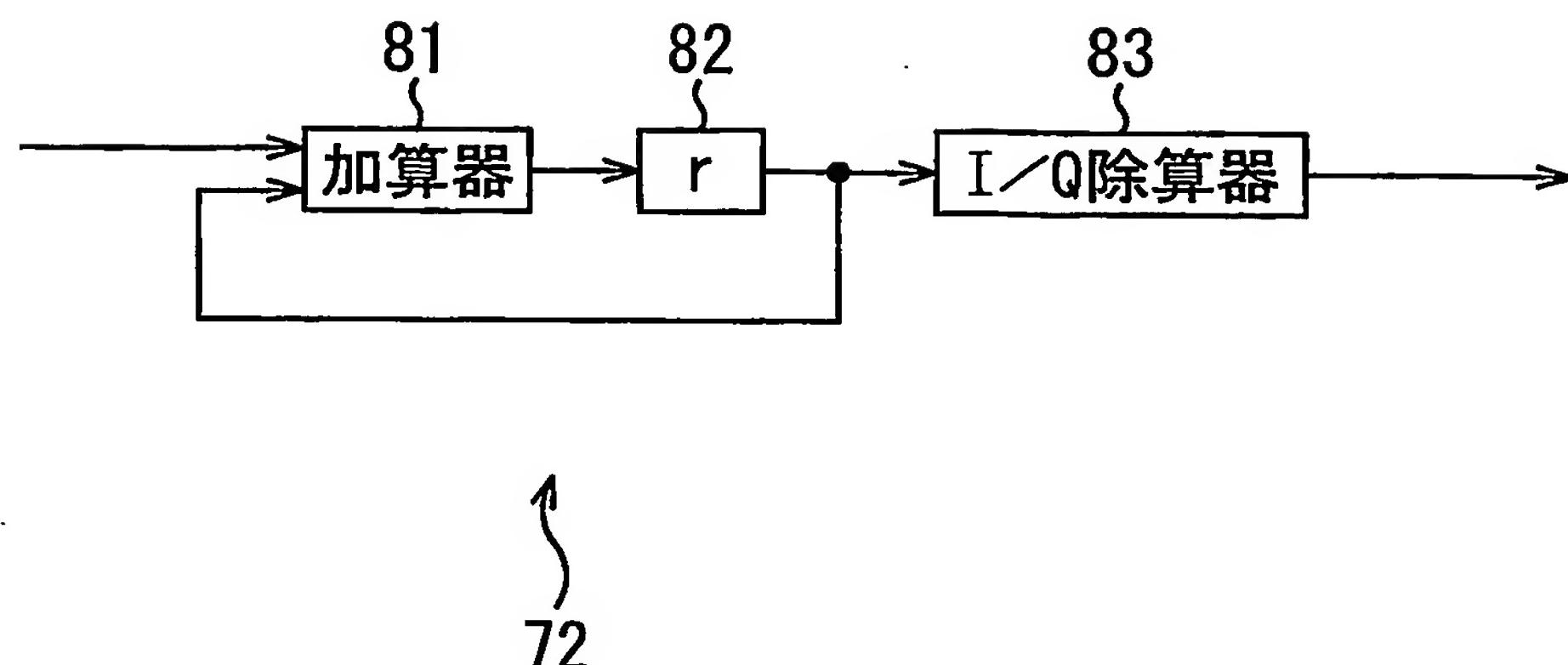
7/45

図7

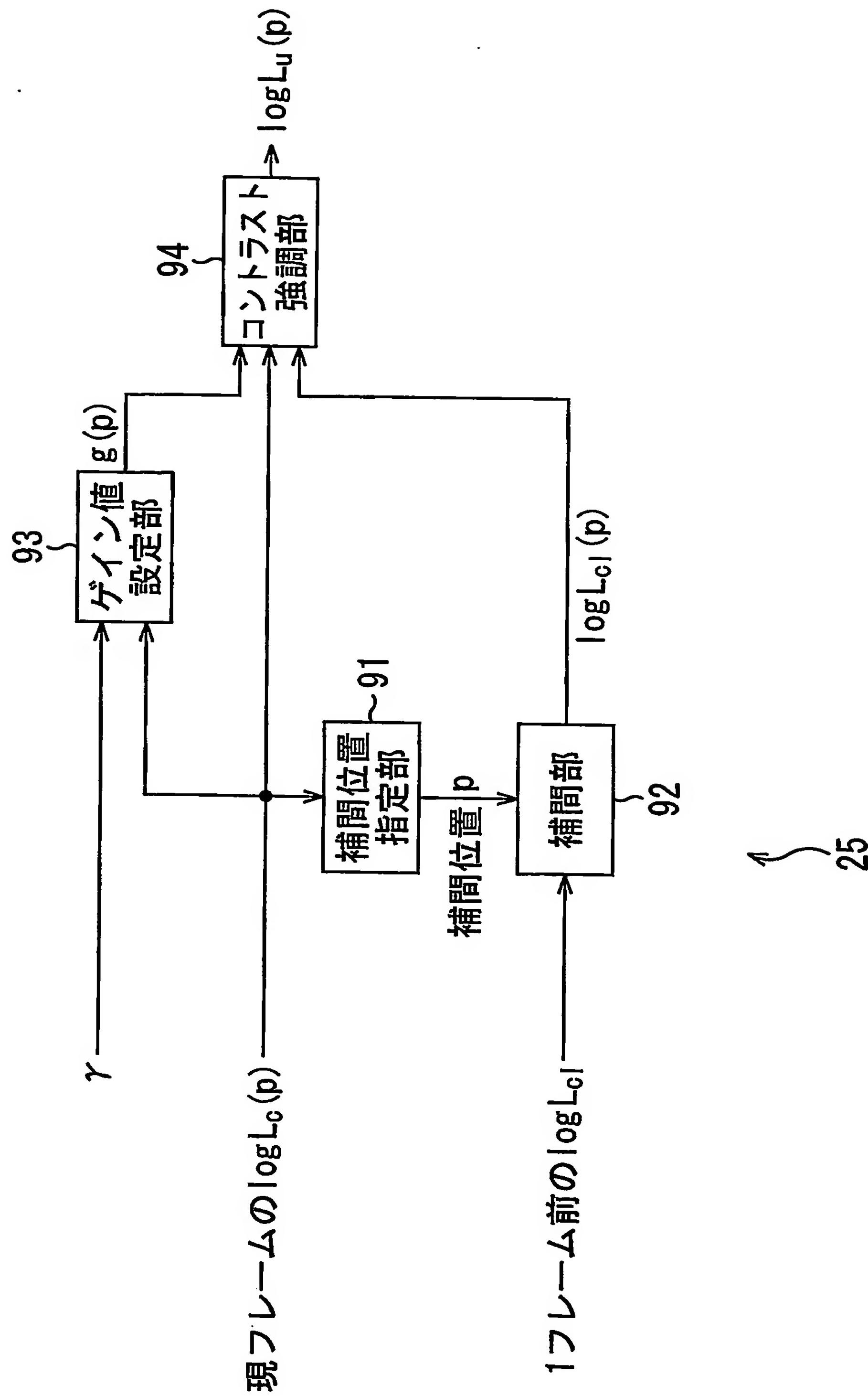


8/45

図 8

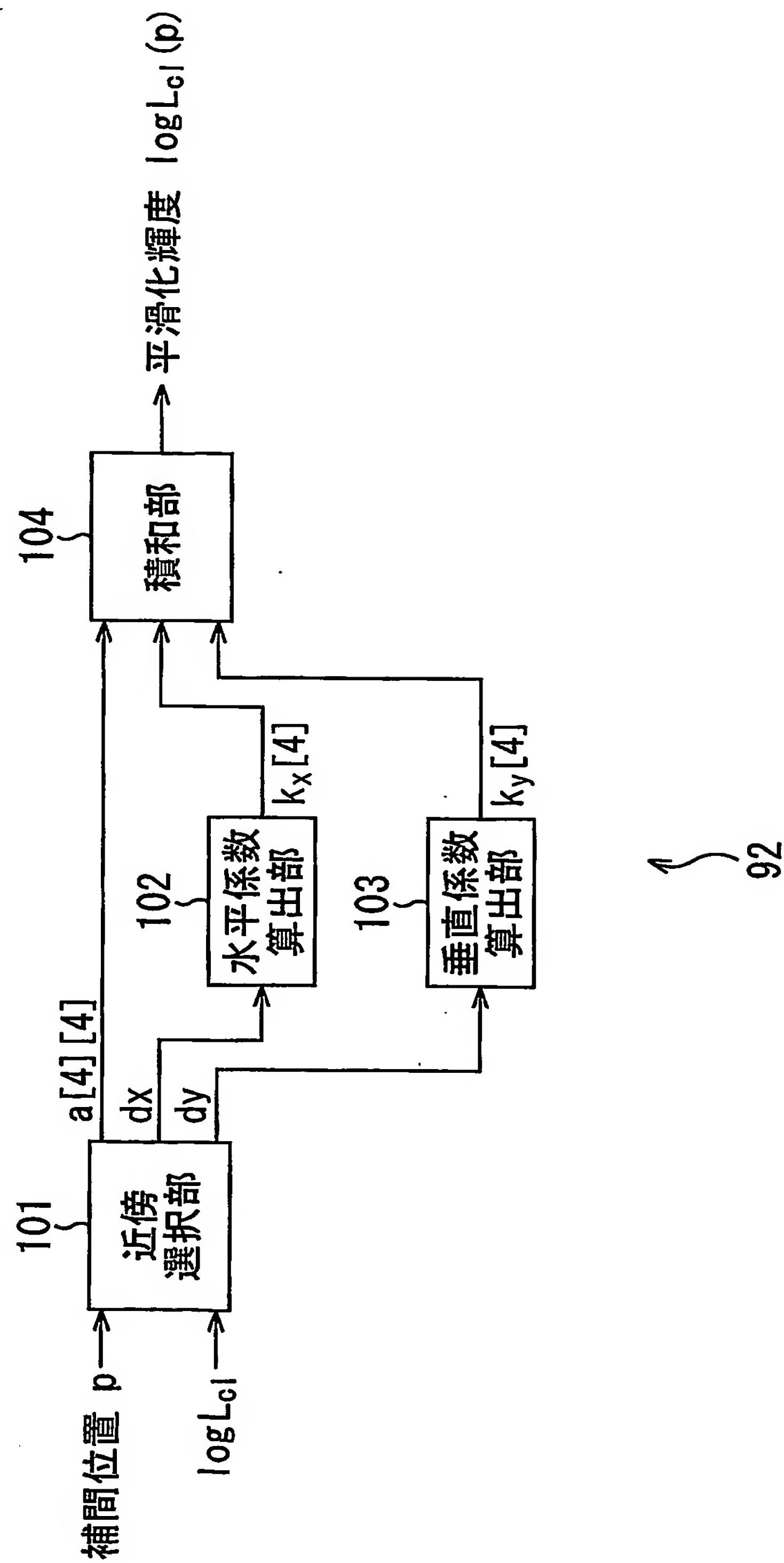


6

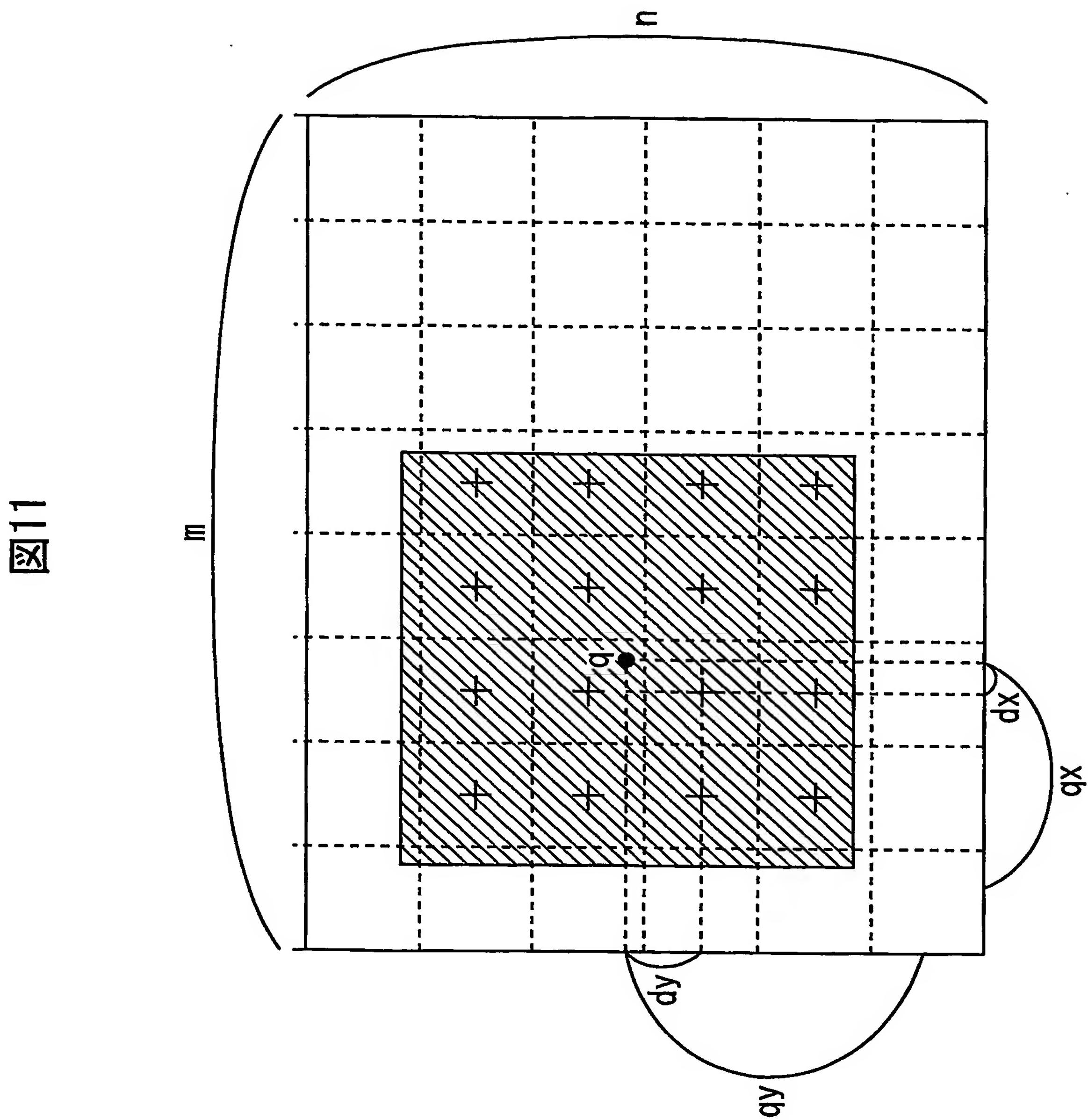


10/45

図10

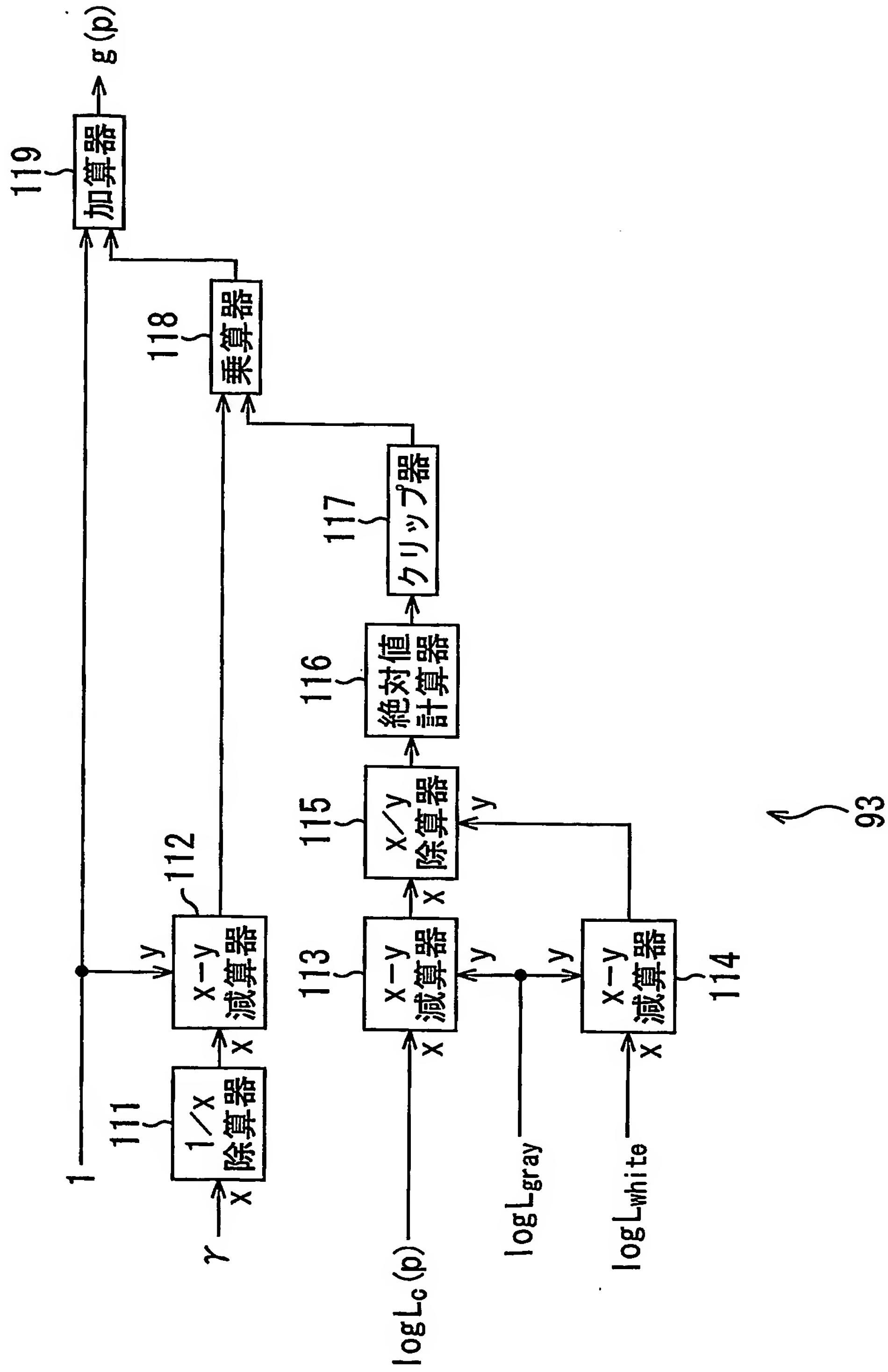


11/45



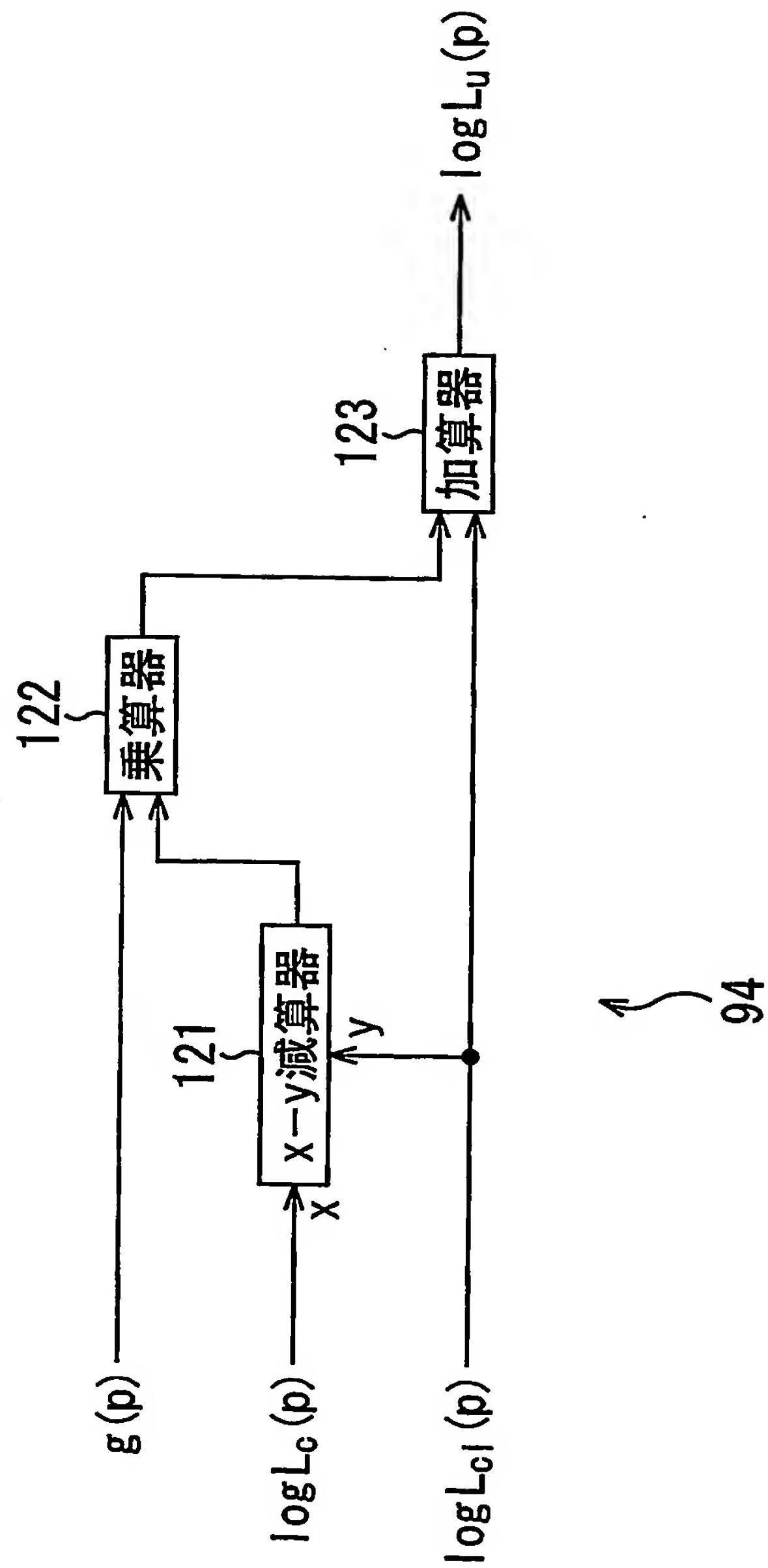
12 / 45

図12



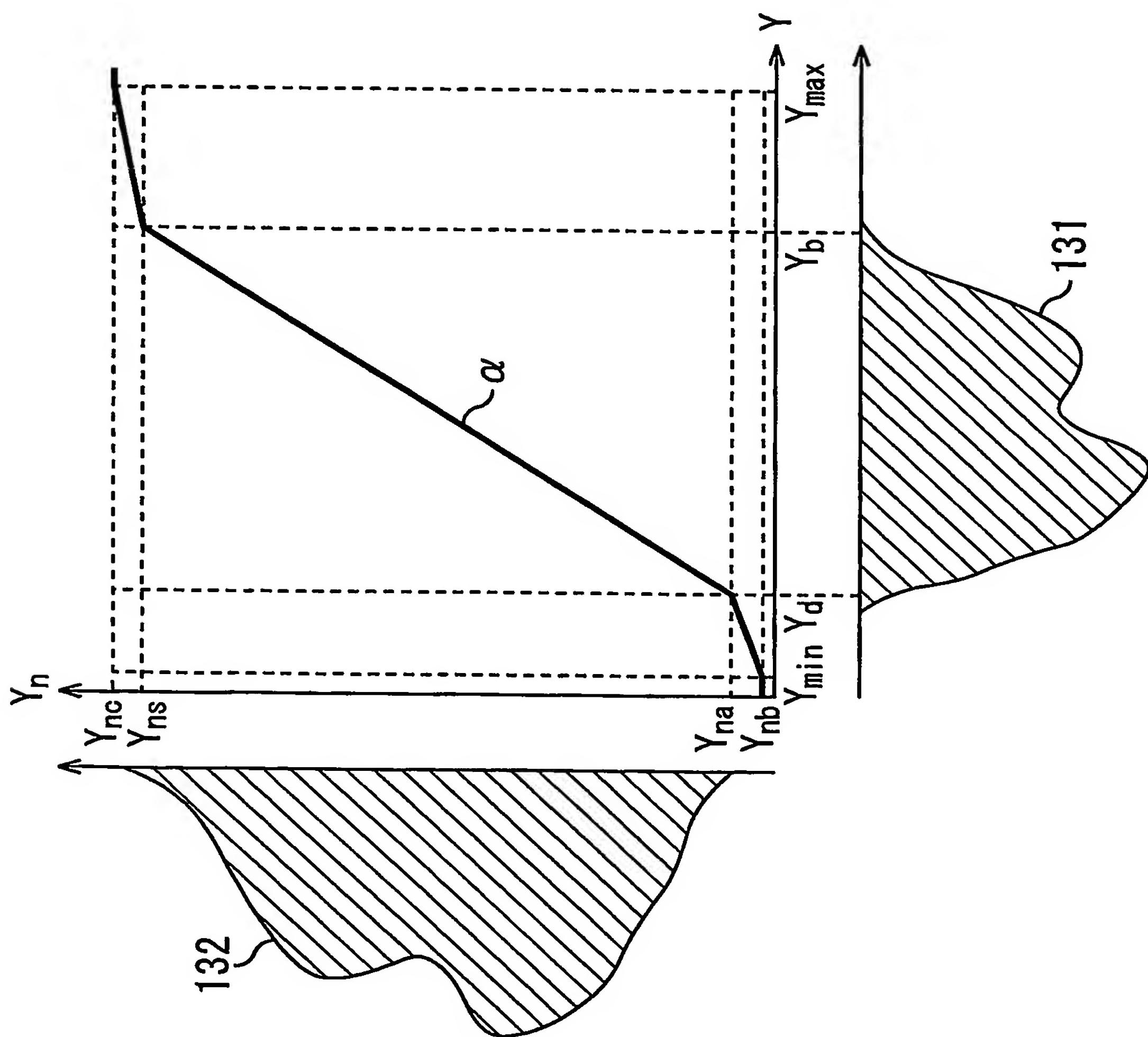
13/45

図13



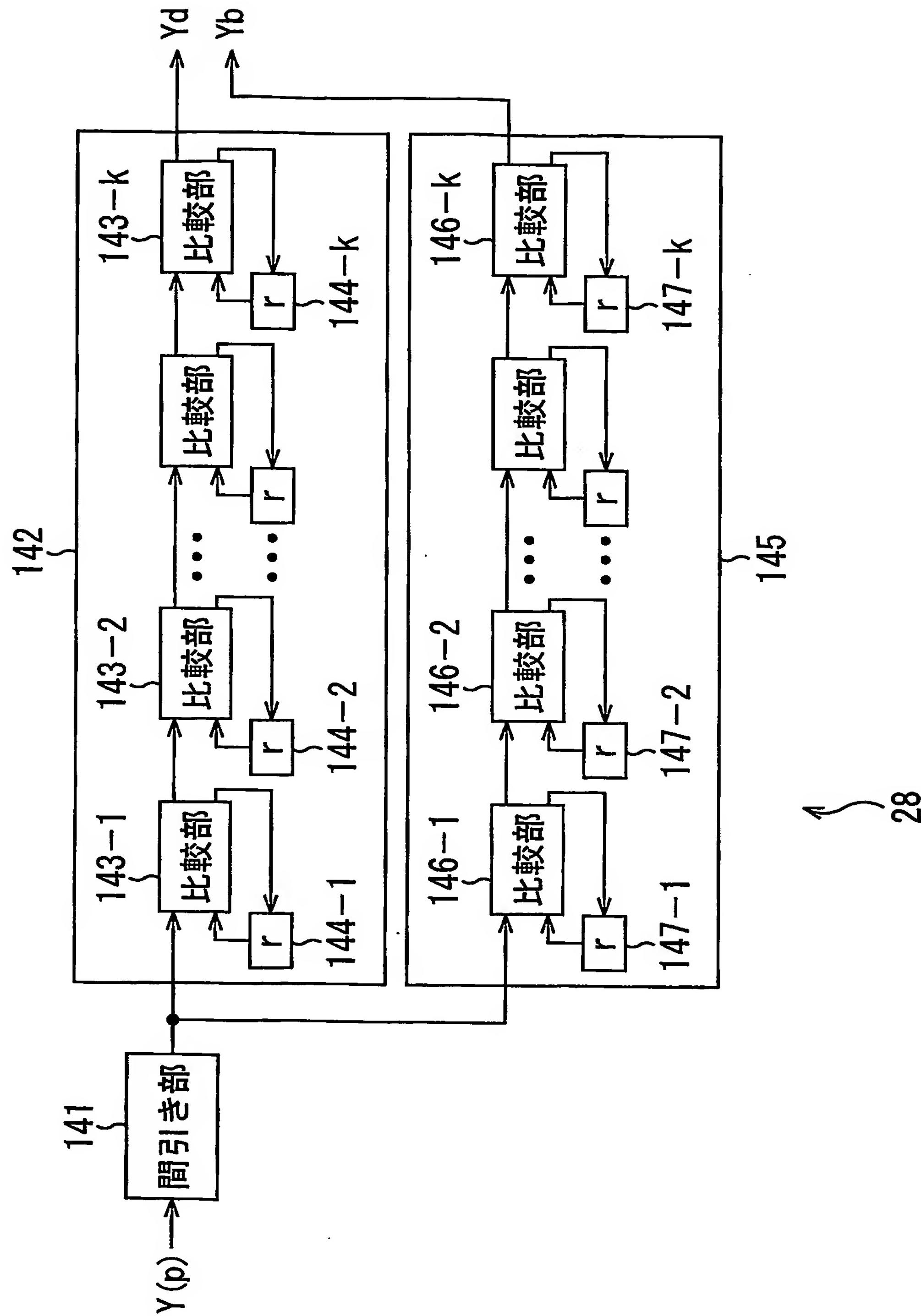
14/45

图14



15/45

図15



16 / 45

6

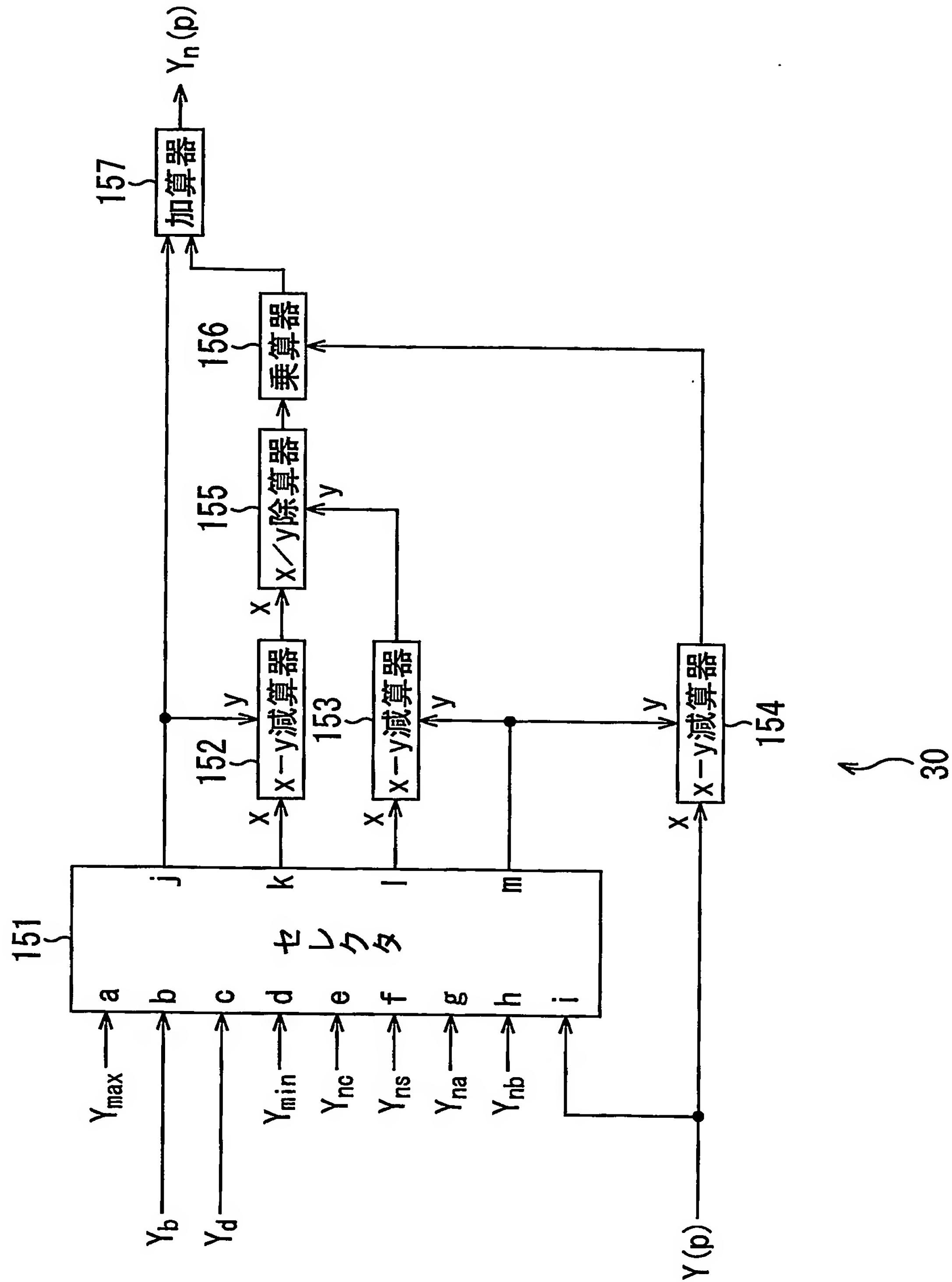


図17

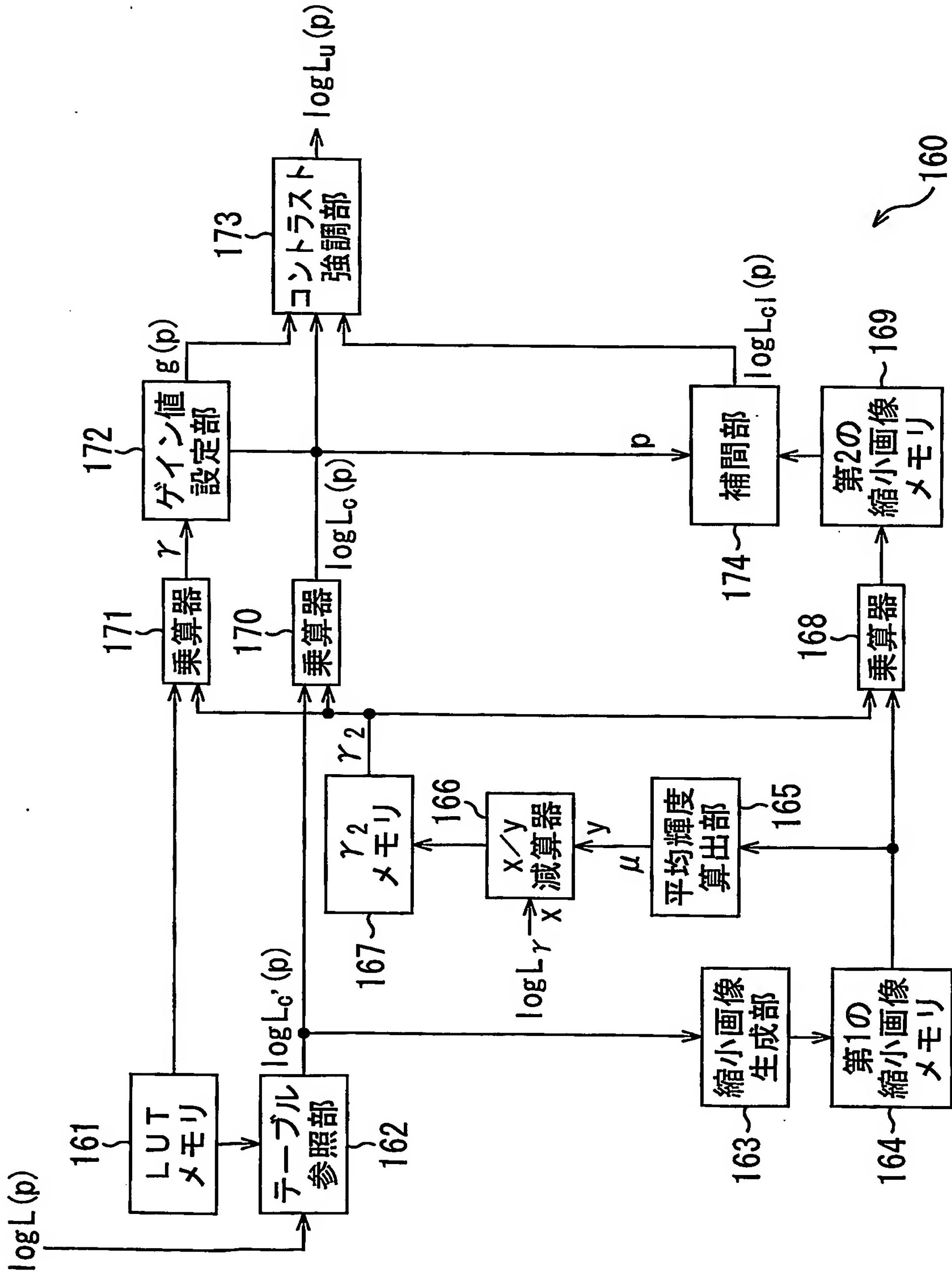


図18

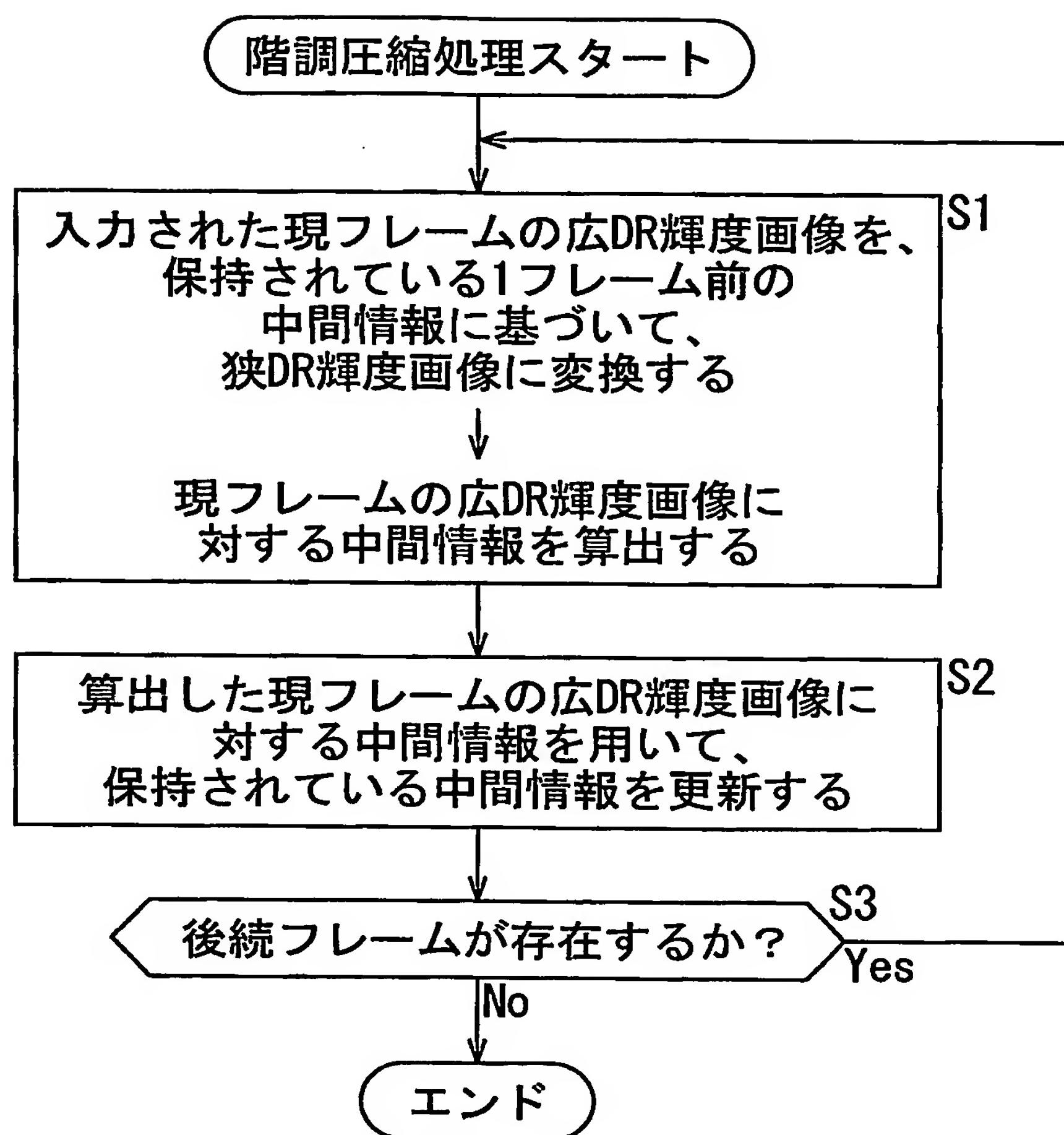
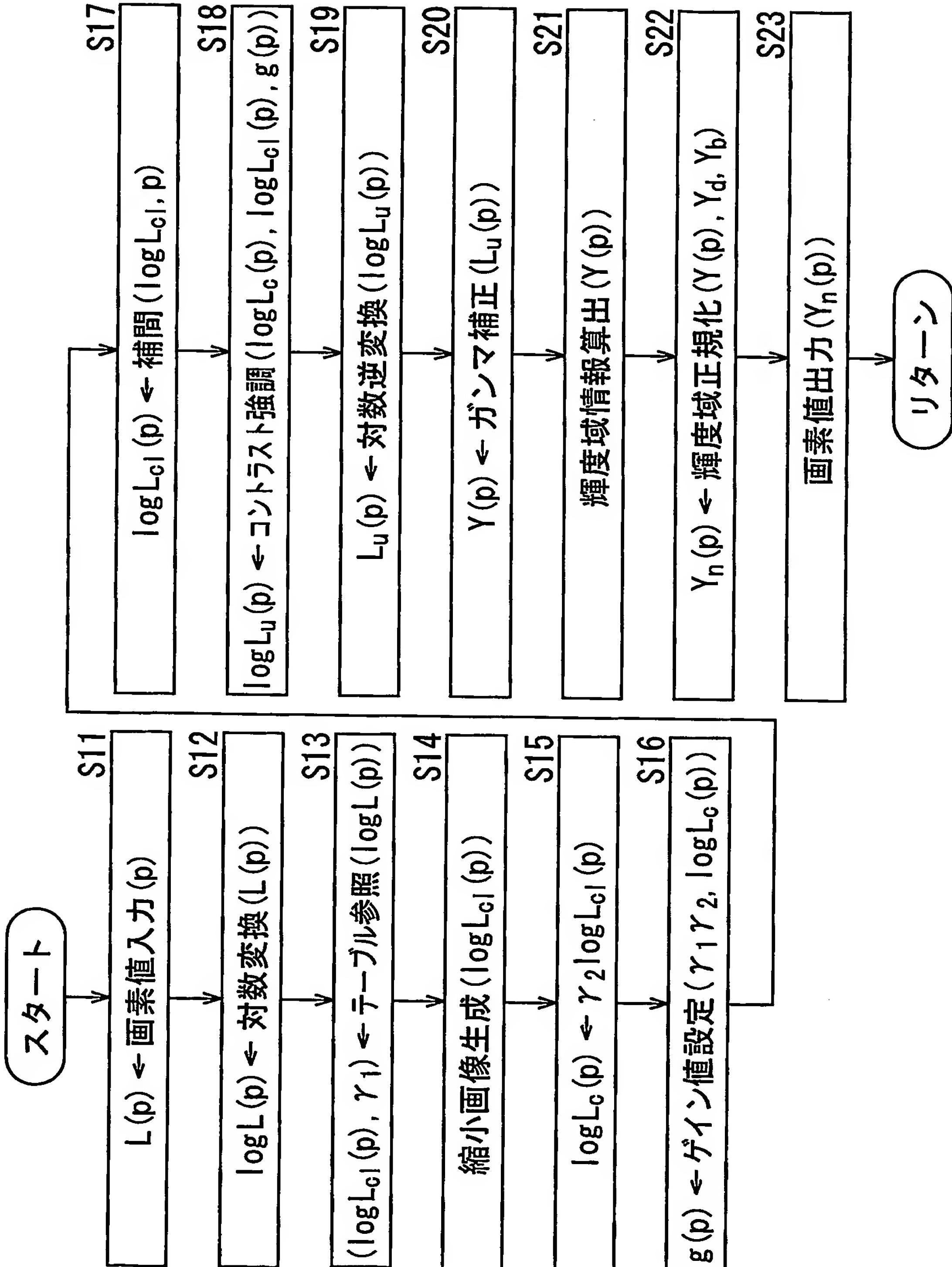
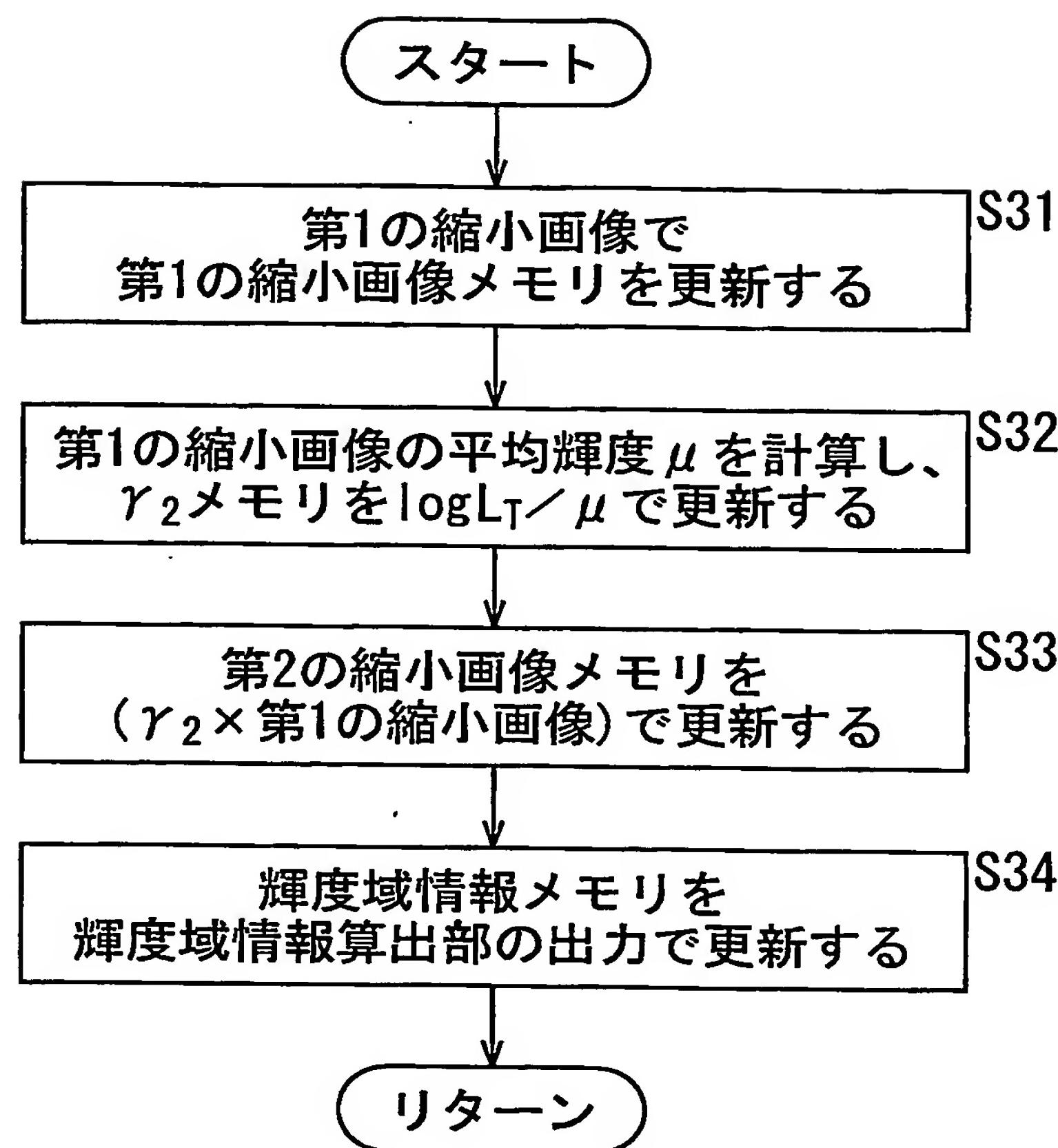


図19



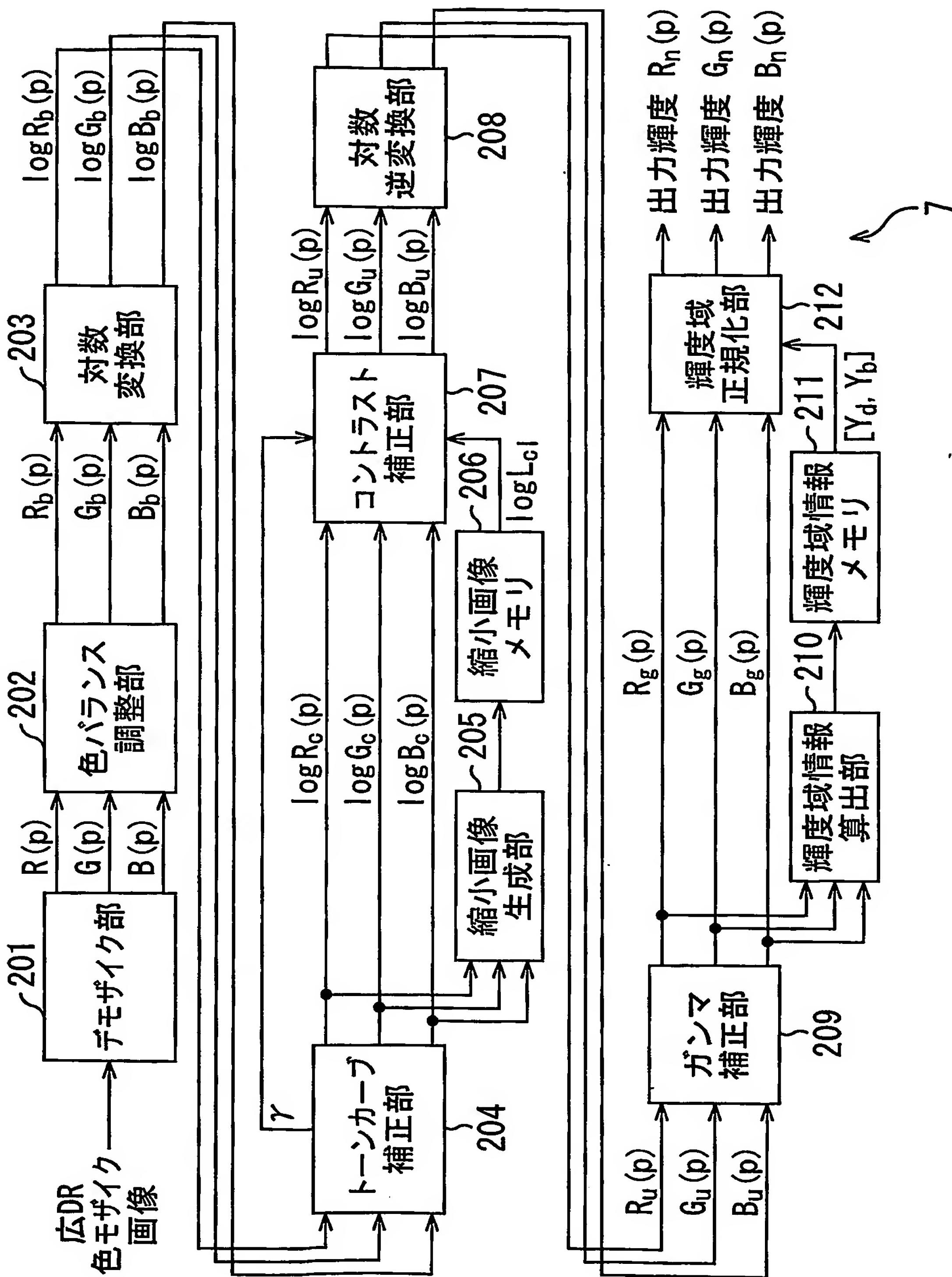
20/45

図20



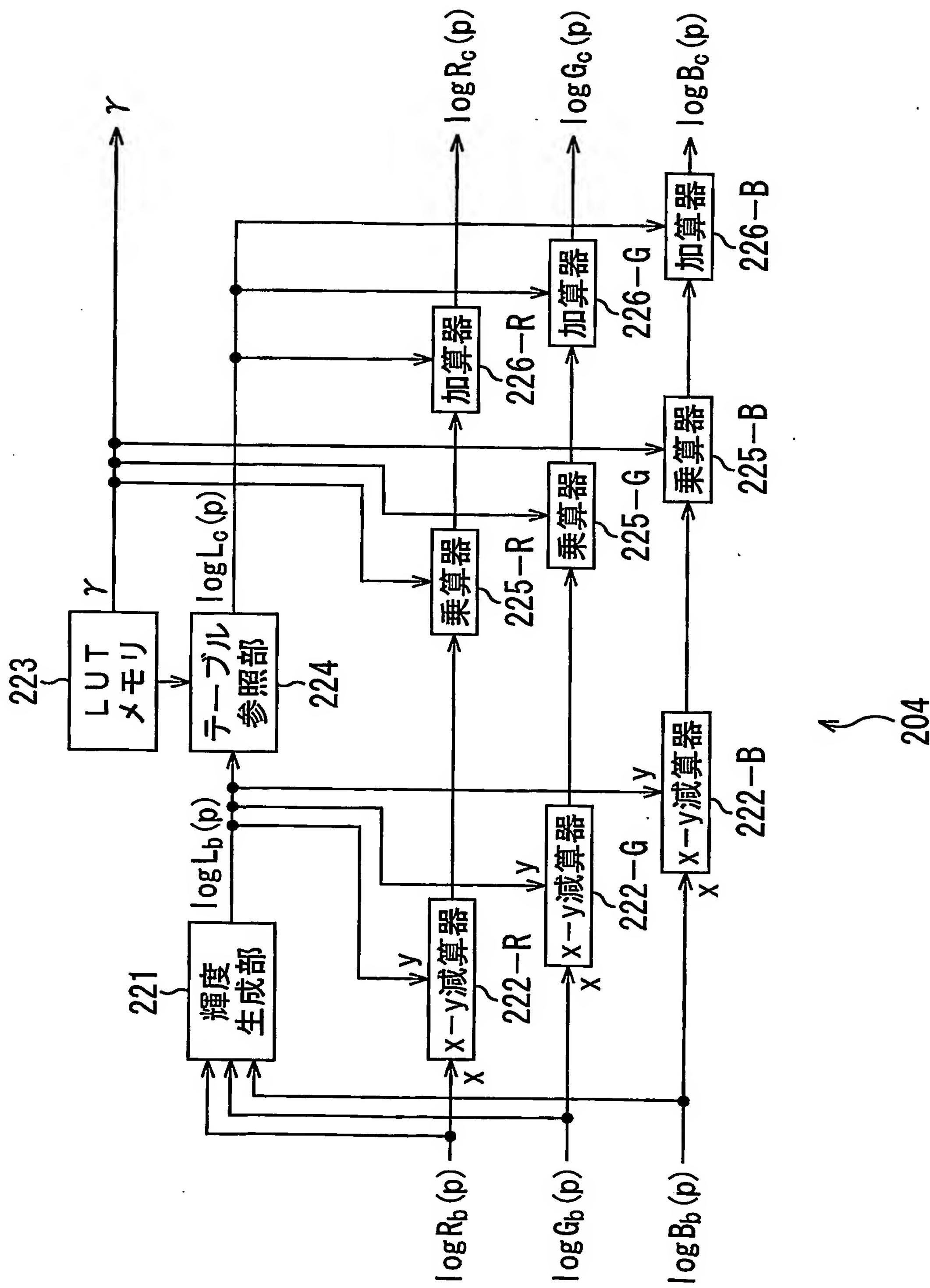
21 / 45

図21



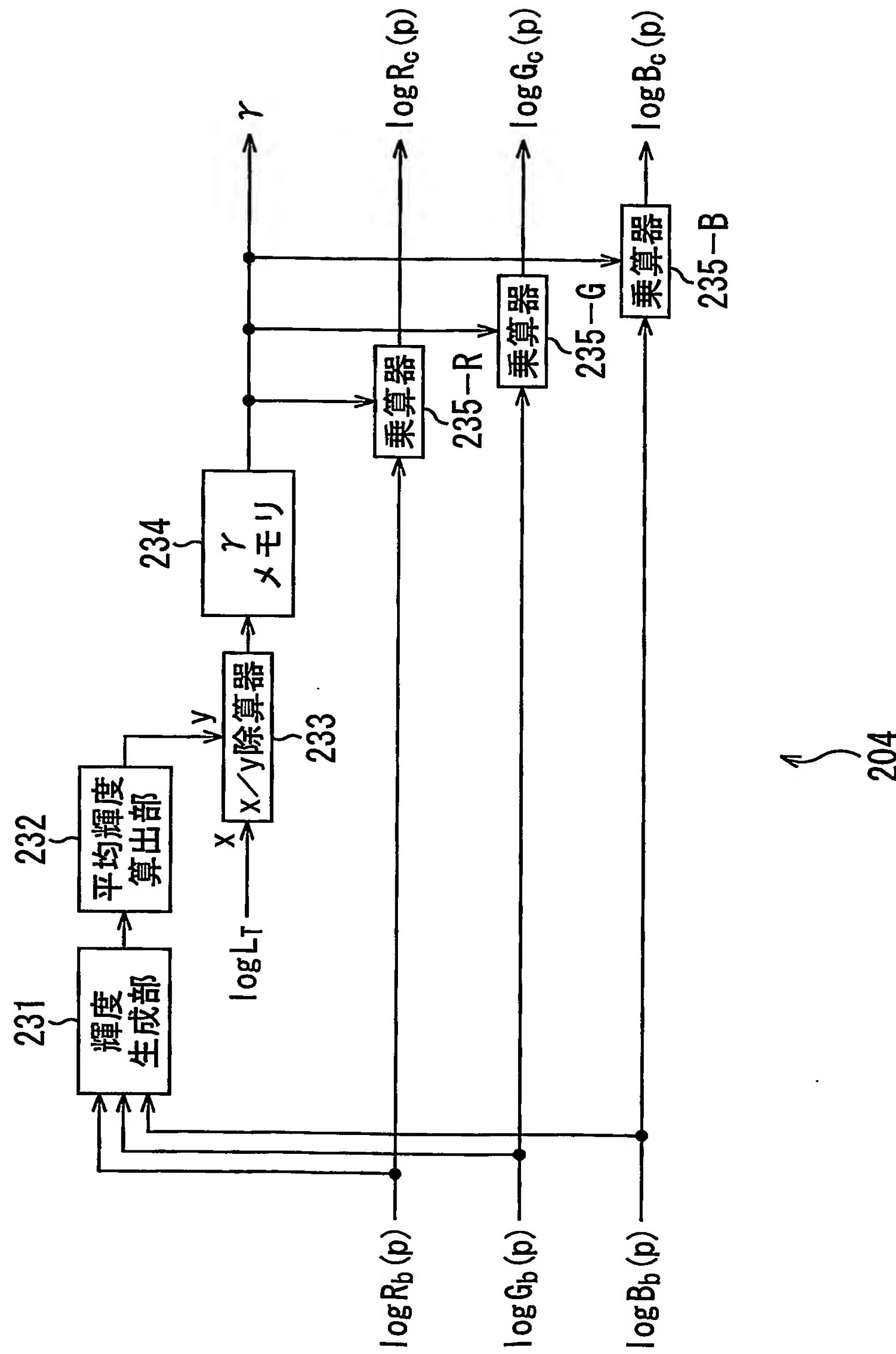
22/45

図22



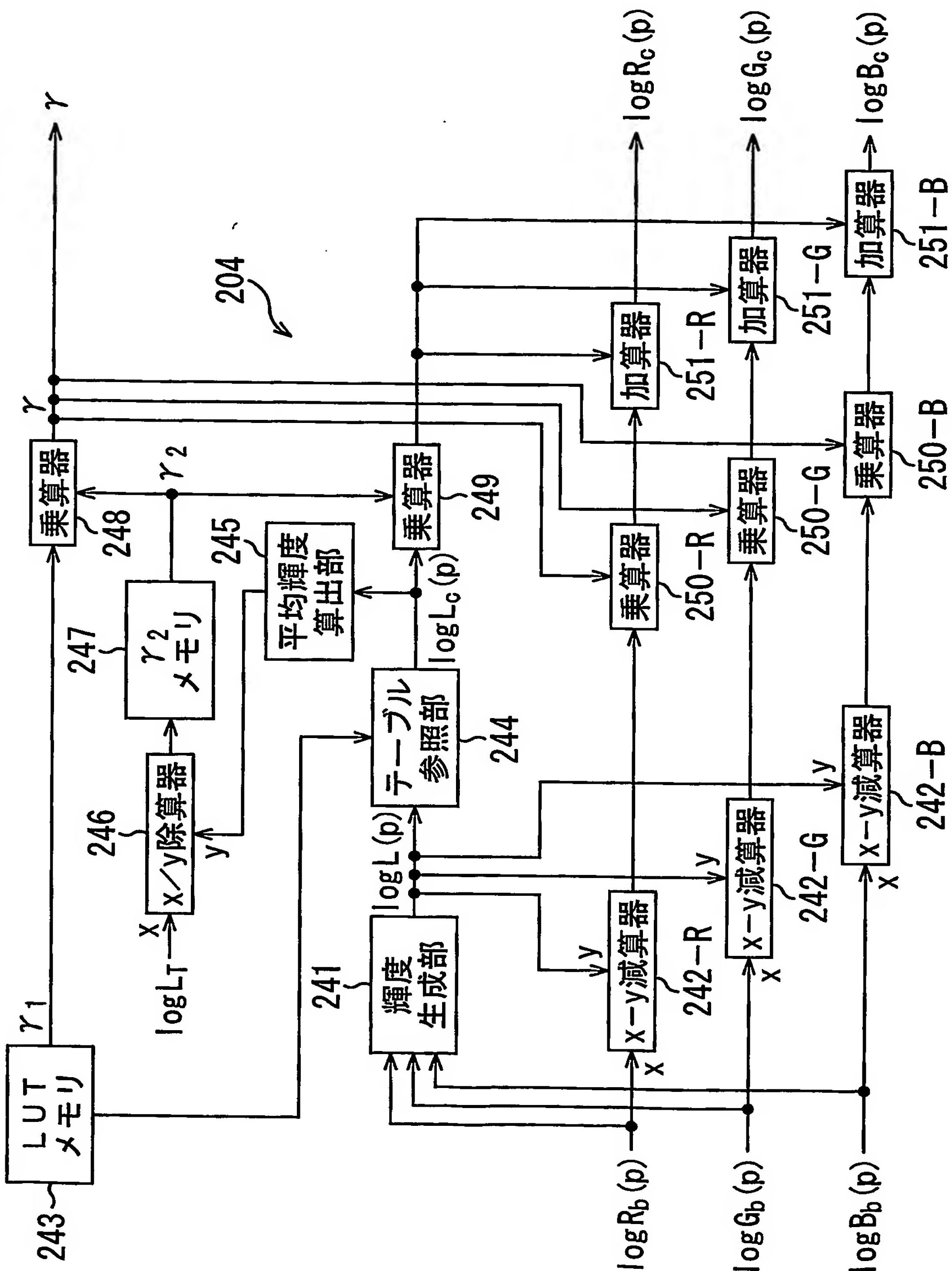
23/45

図23



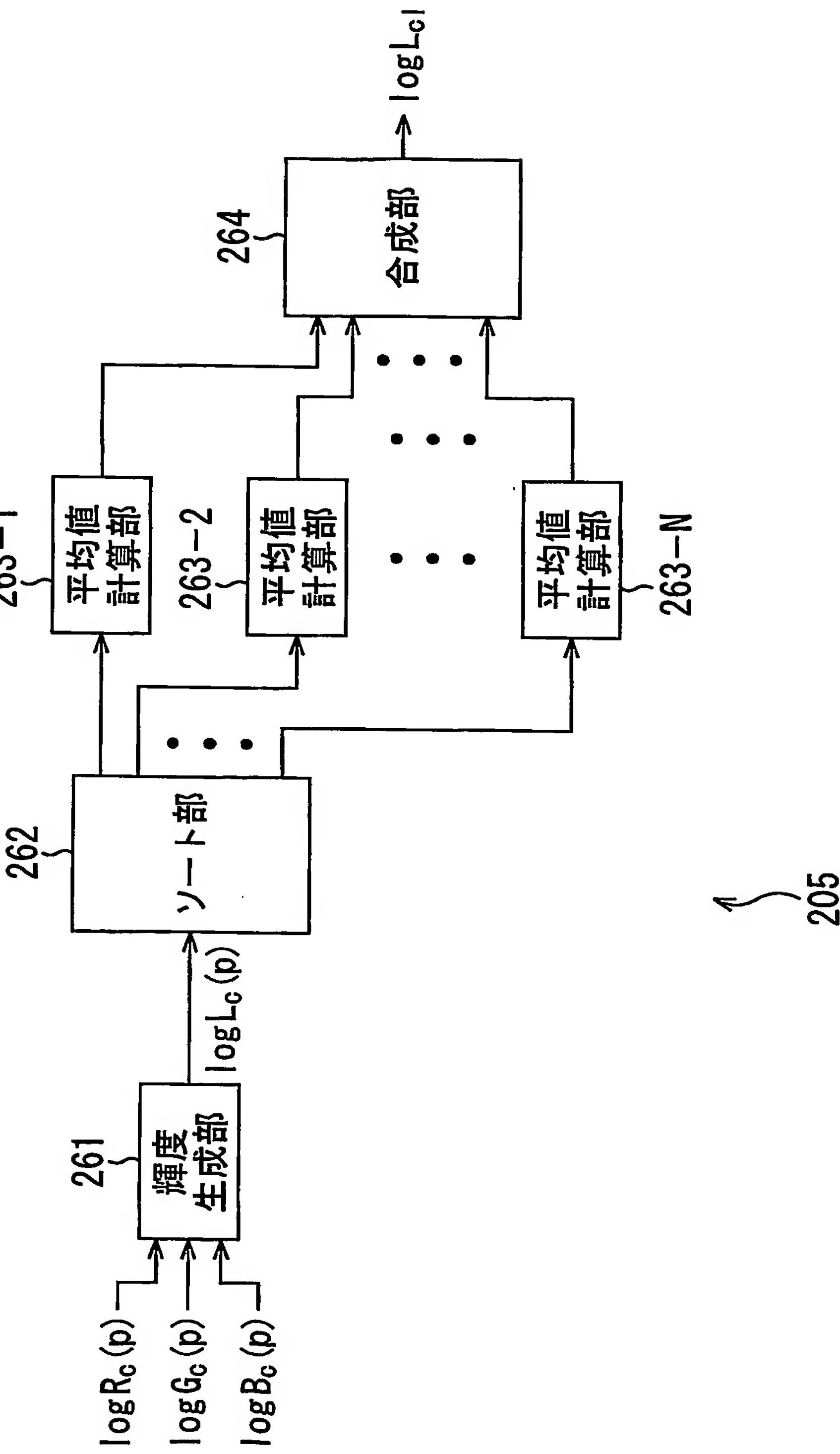
24/45

図24



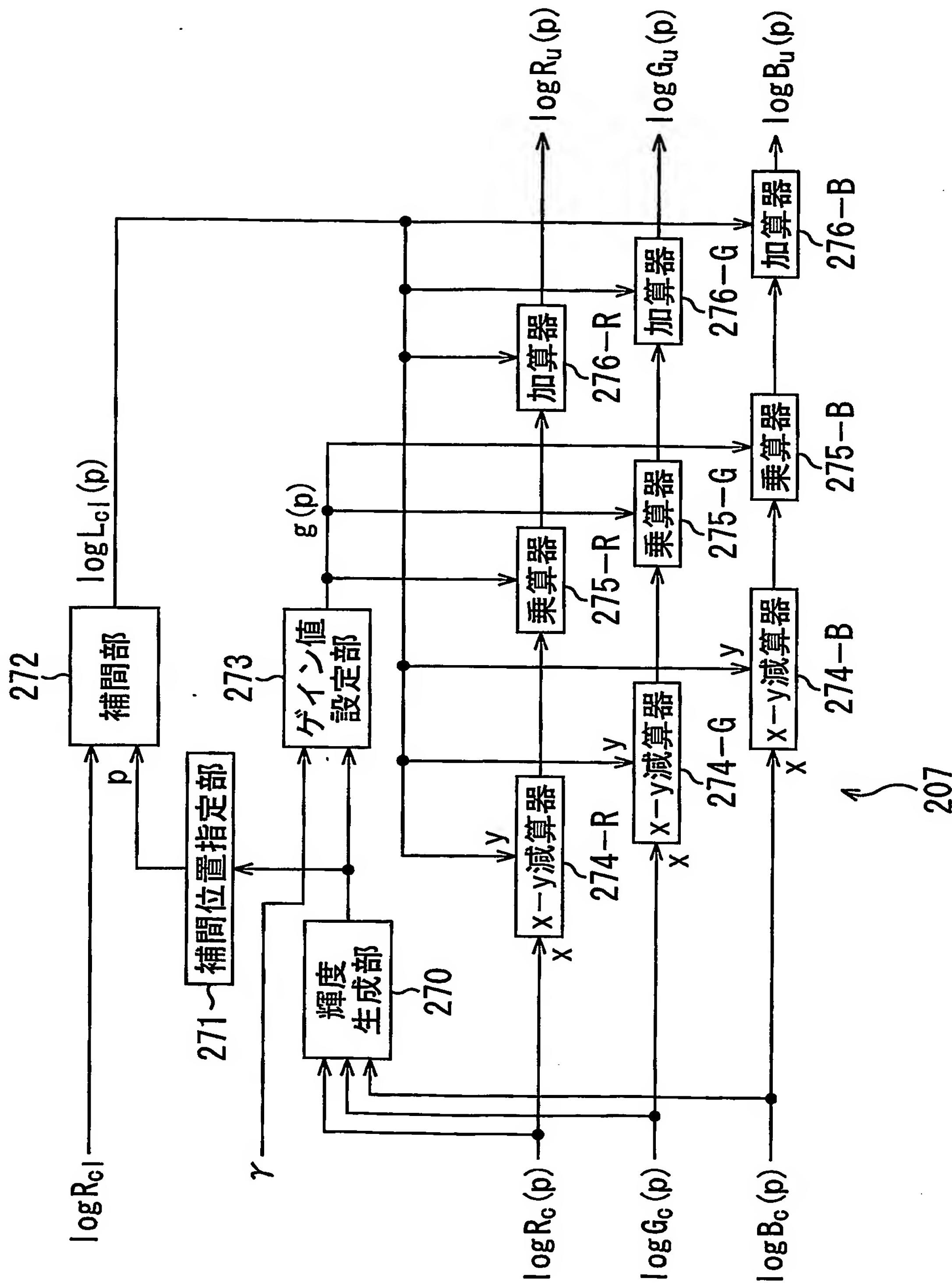
25 / 45

図25



26 / 45

図26



27

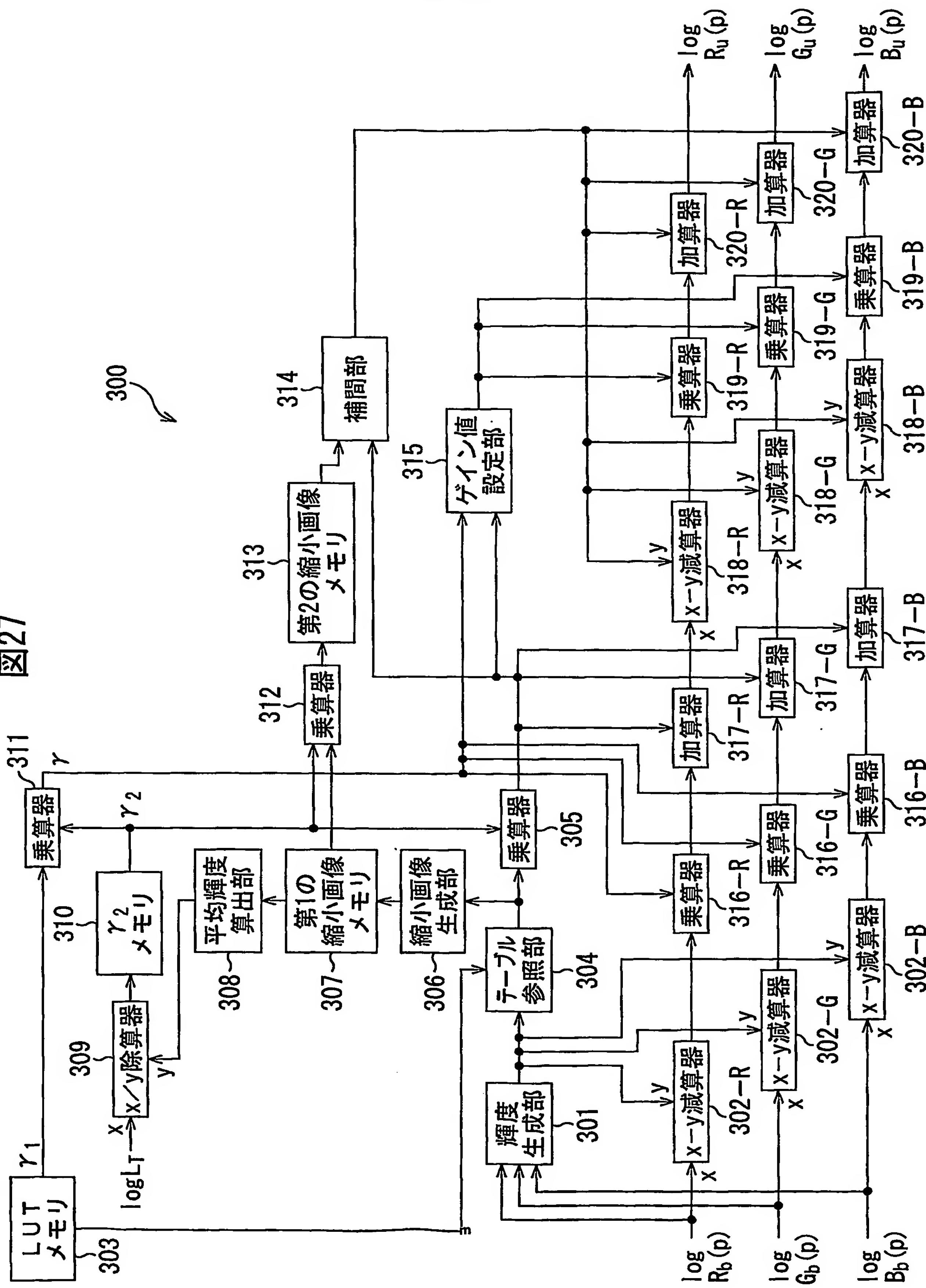


図28

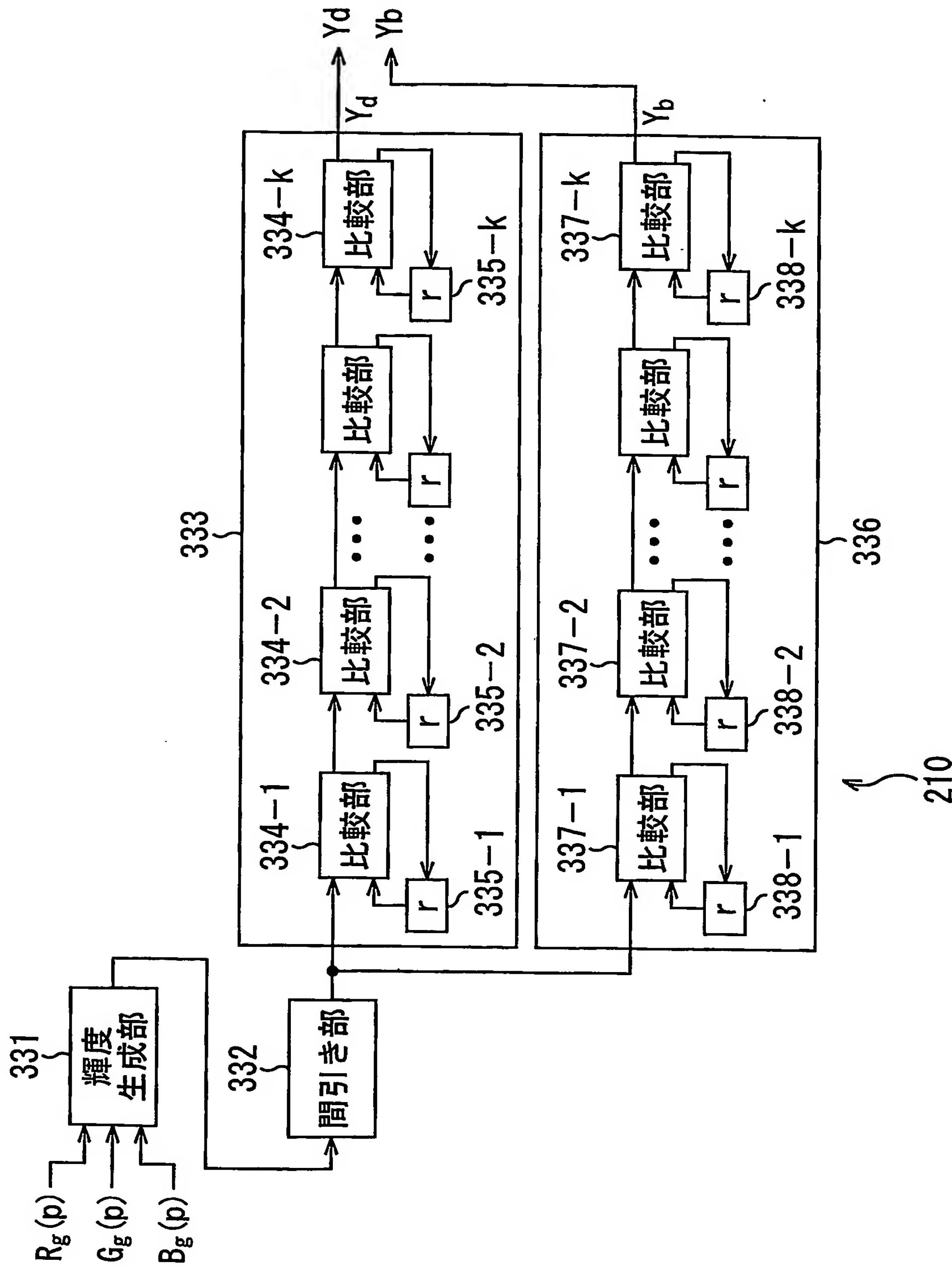


図29

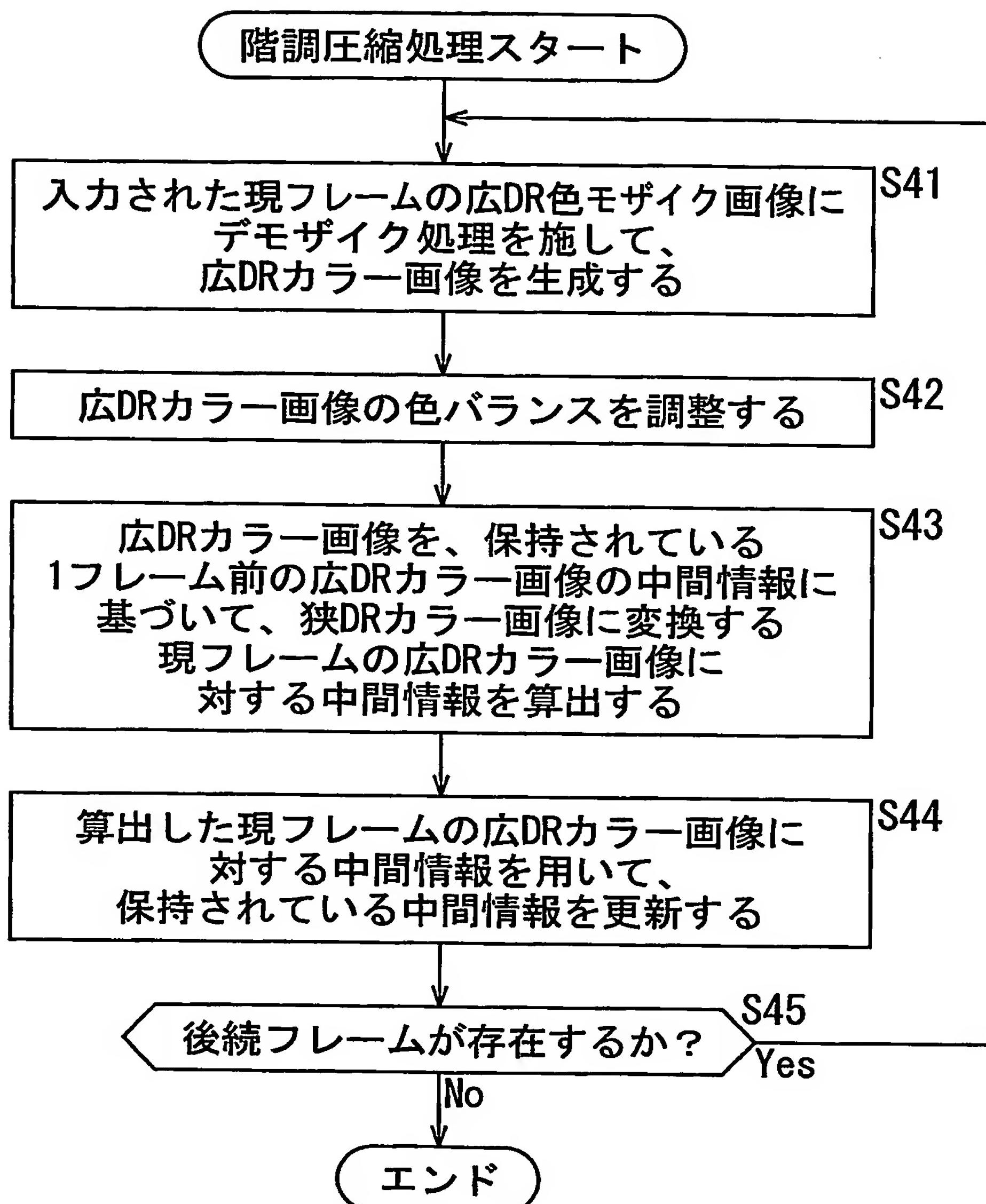
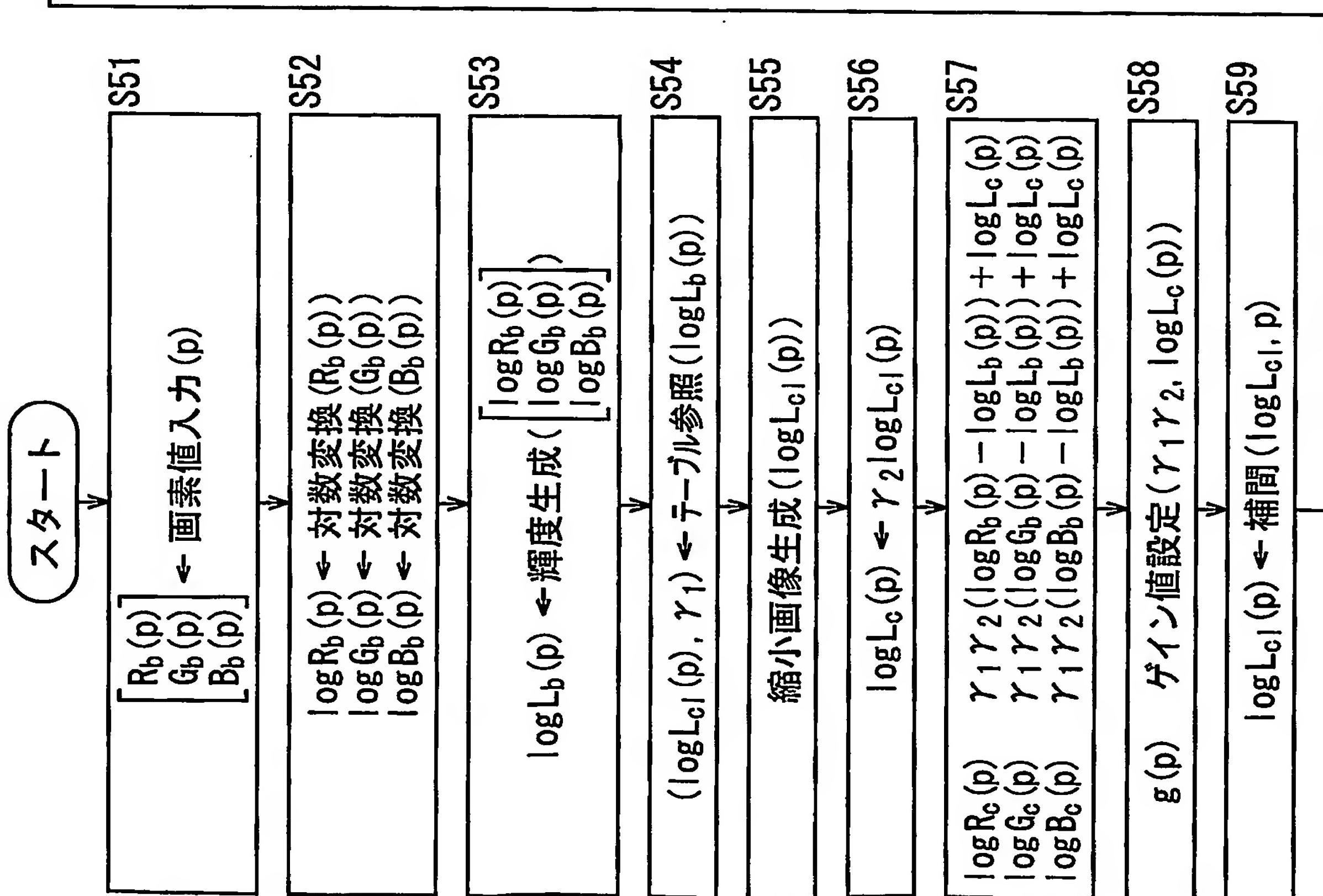


図30



31/45

図31

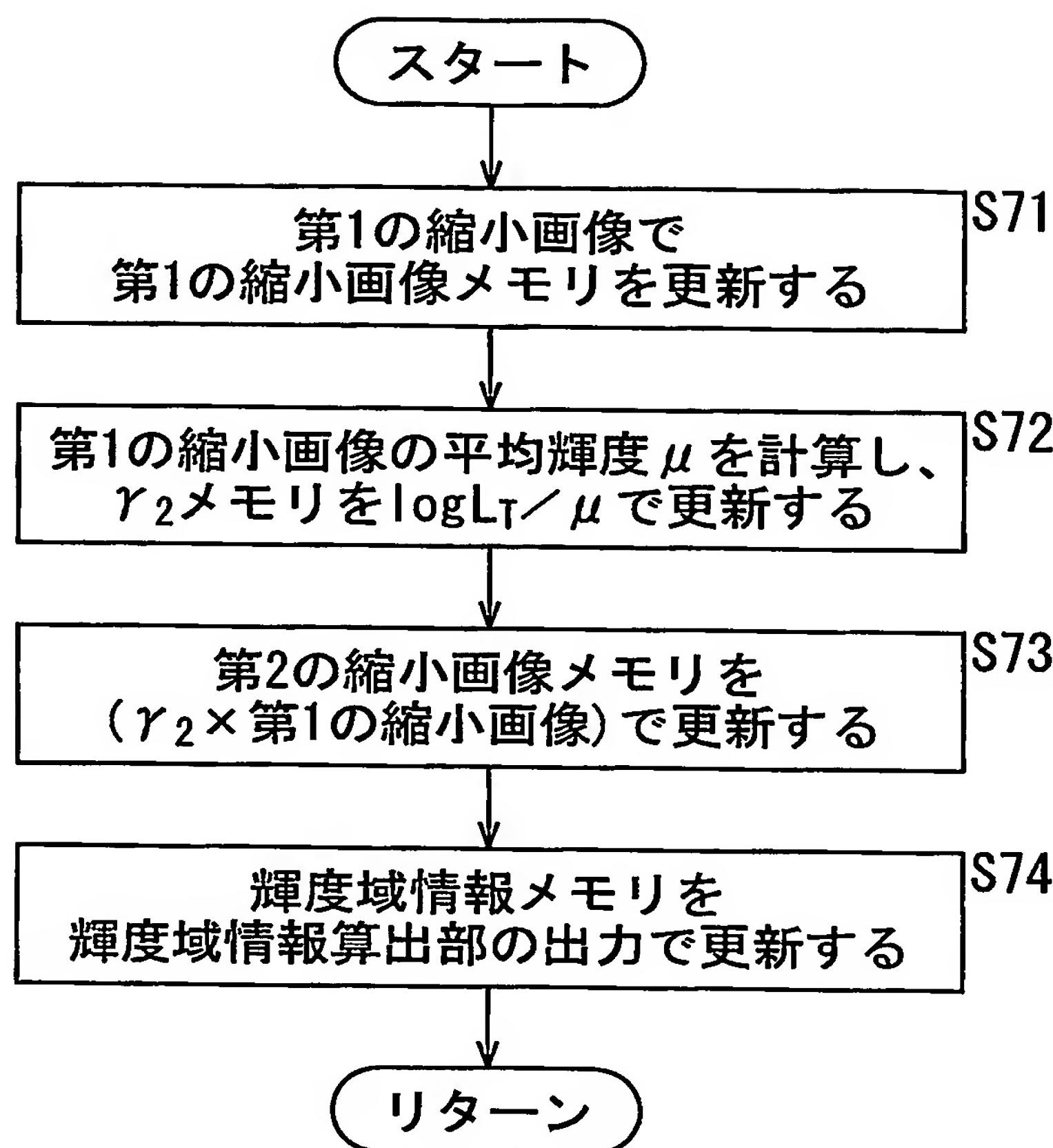
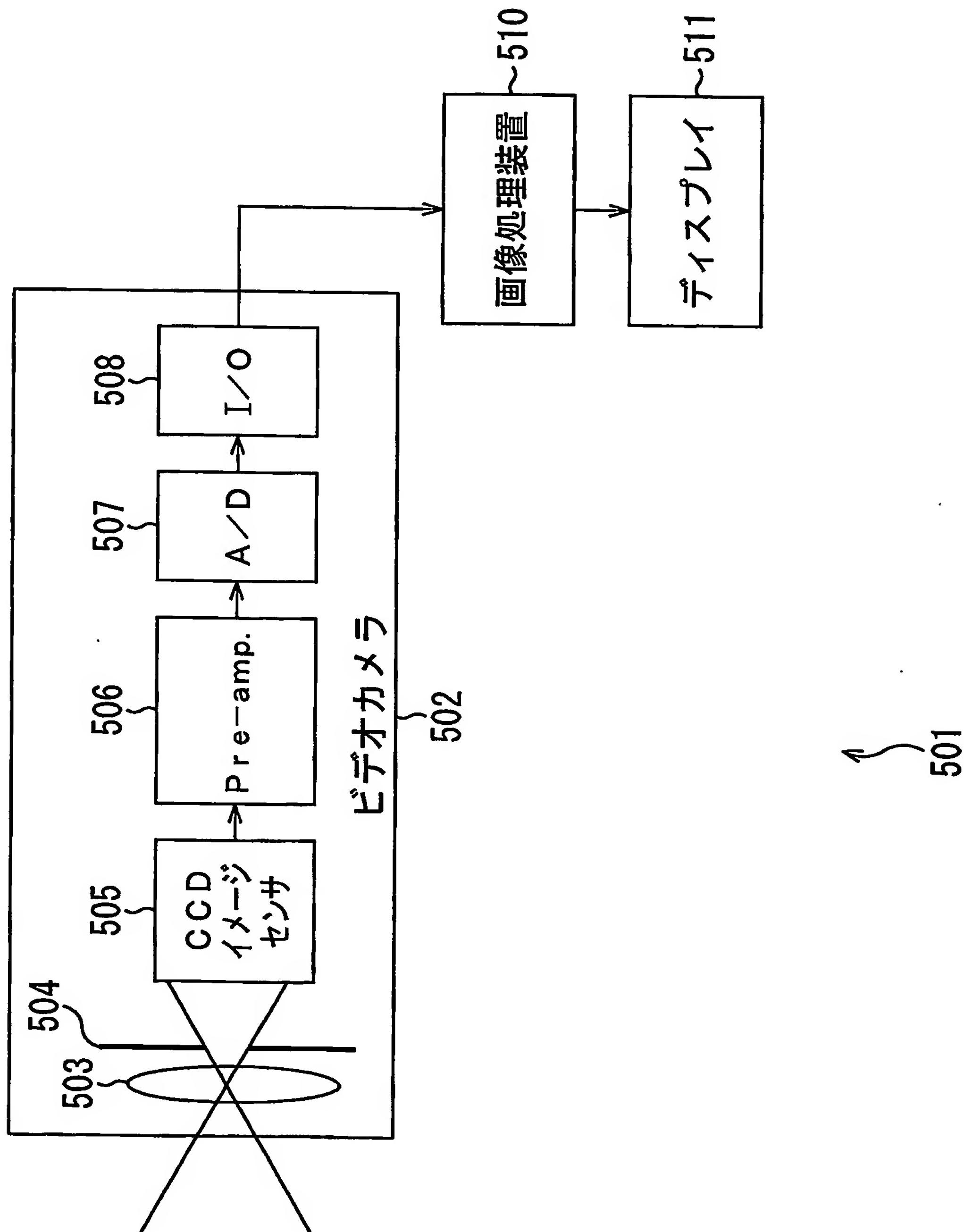


図32



33/45

図33

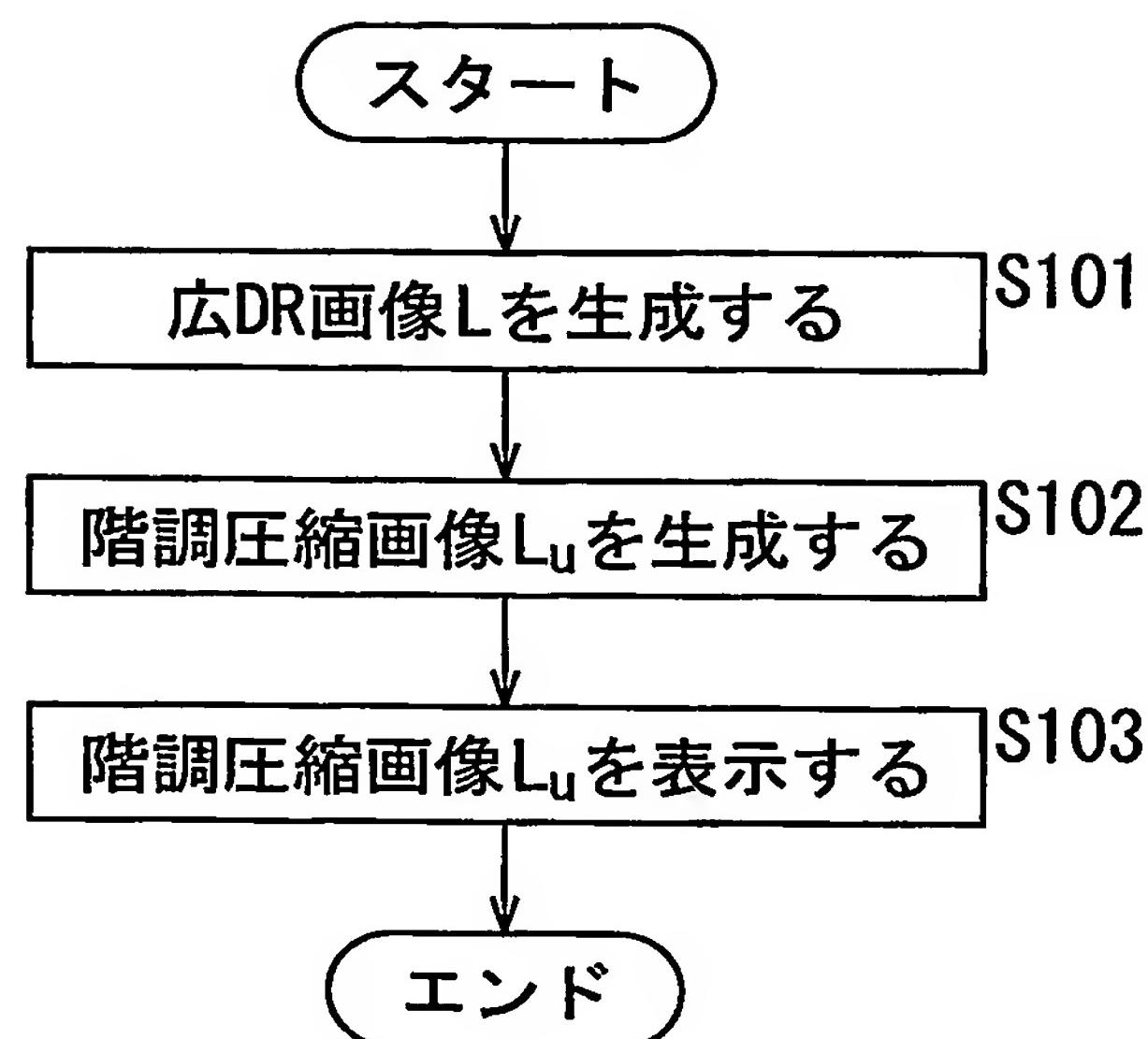
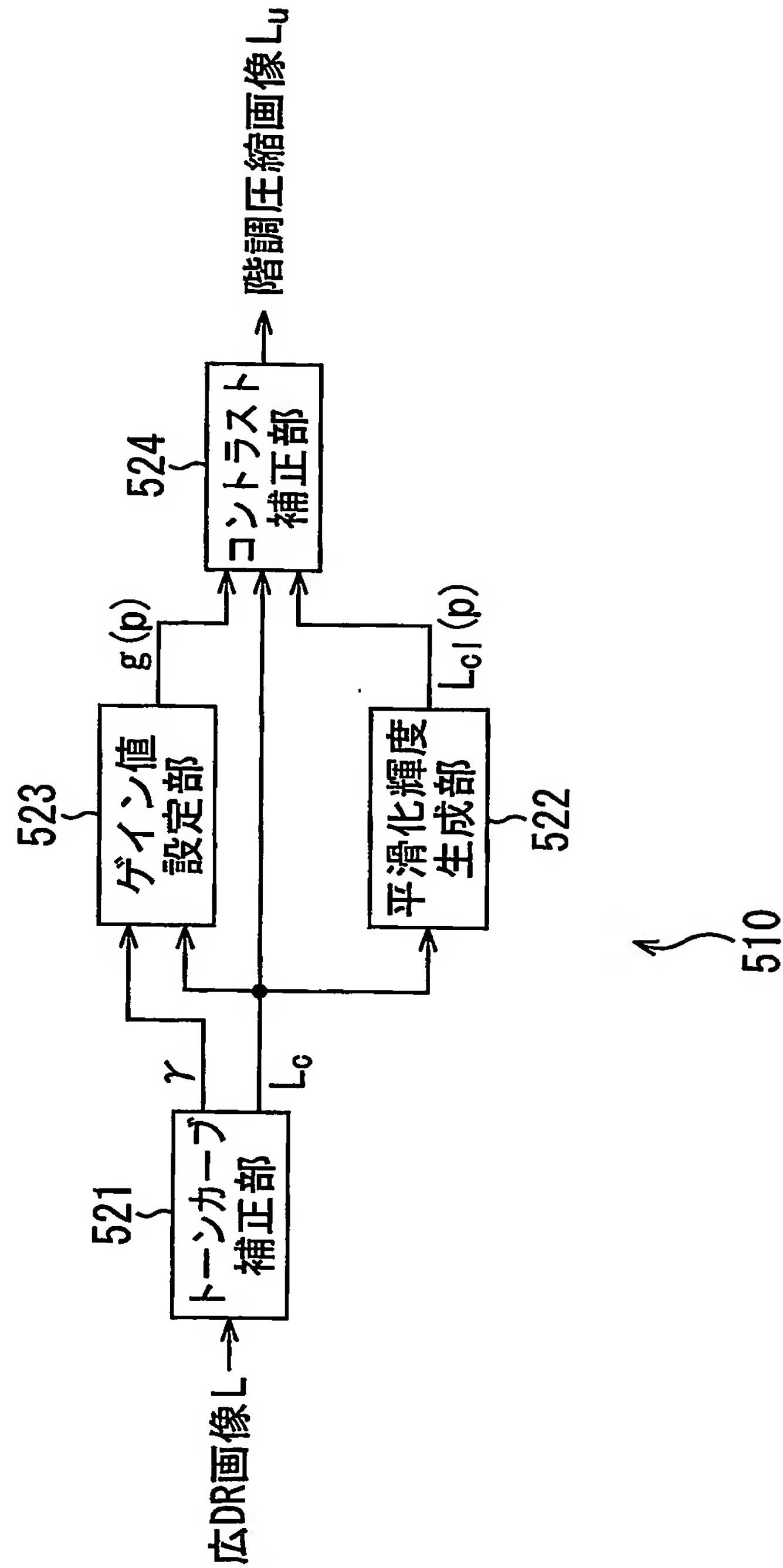


図34



35/45

図35

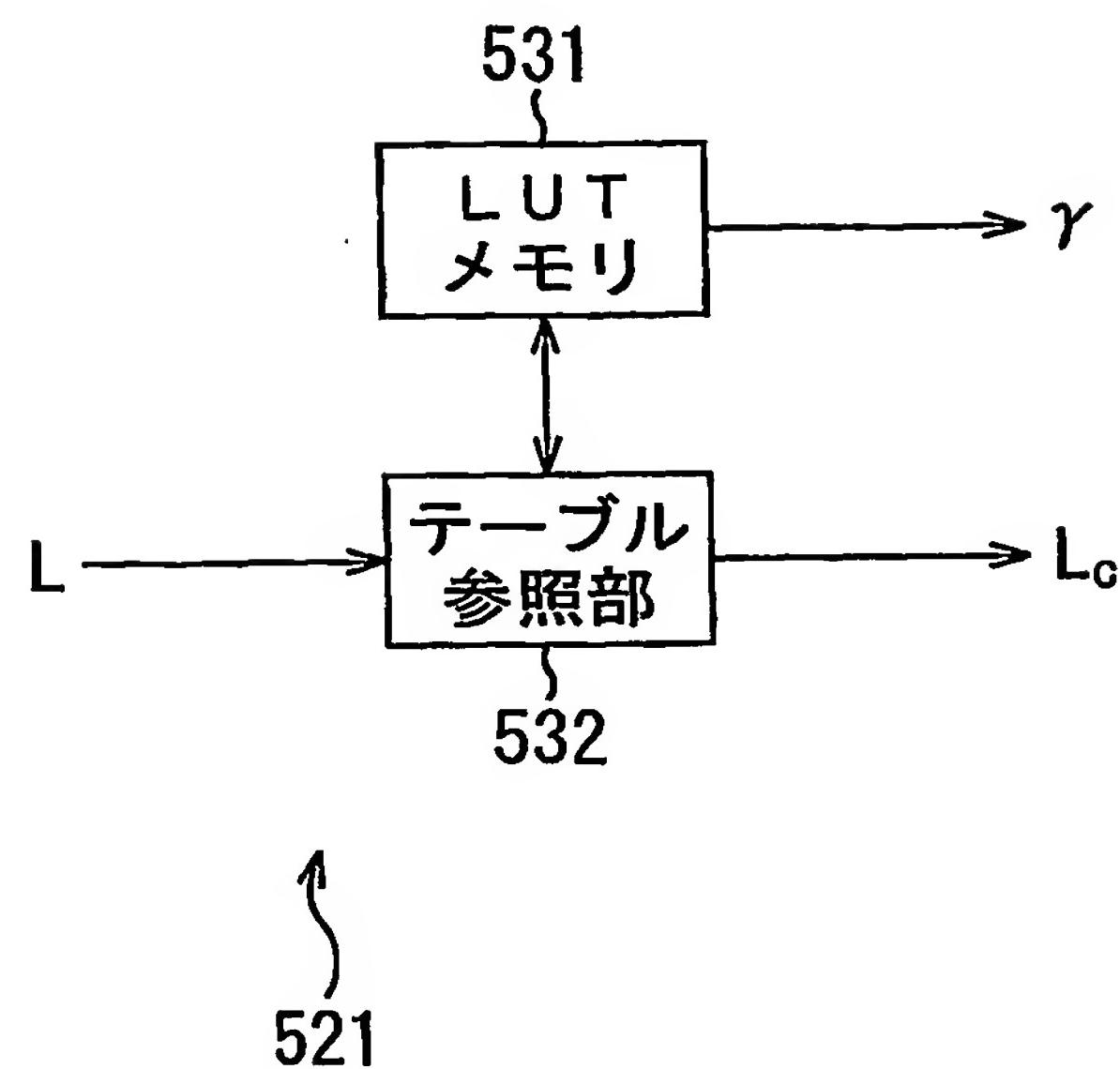
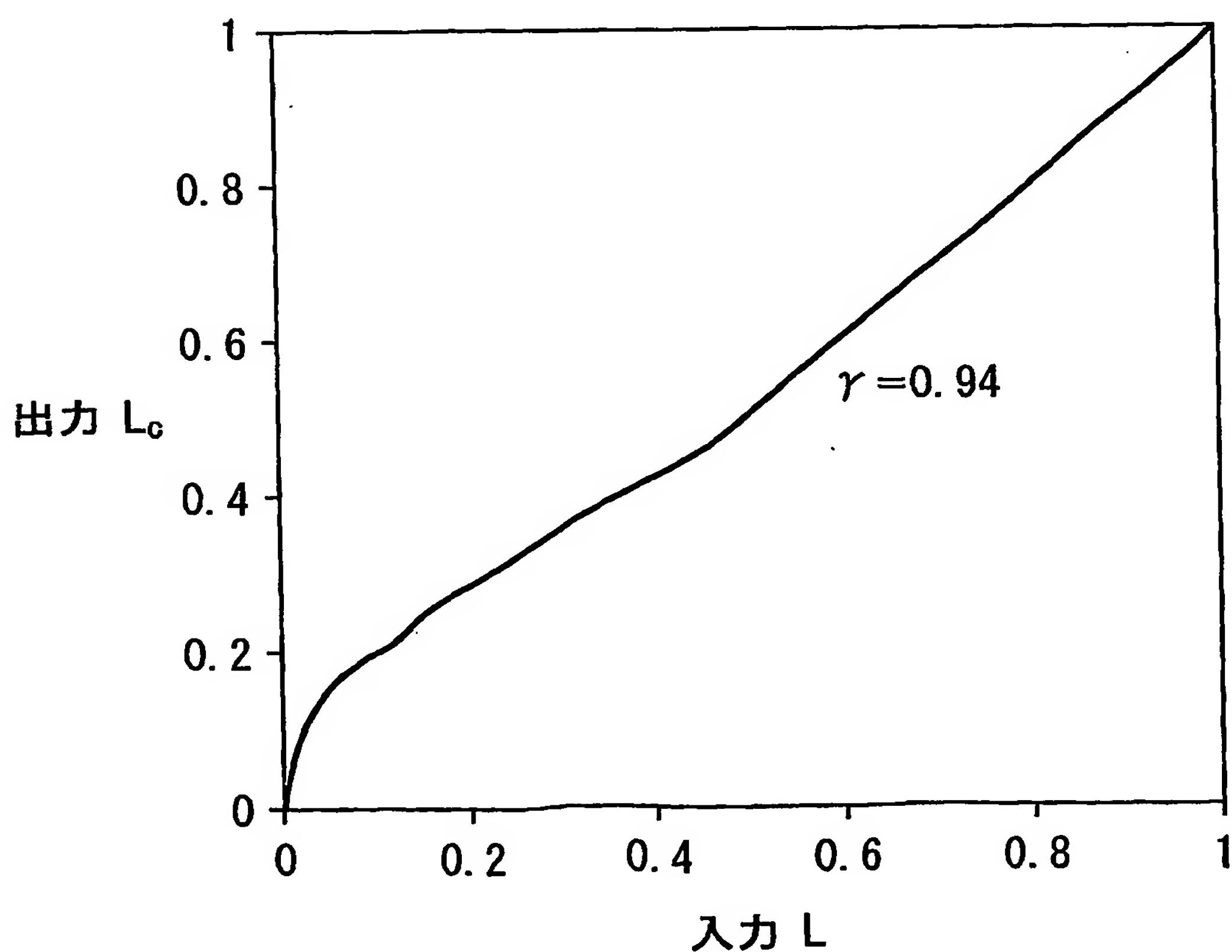
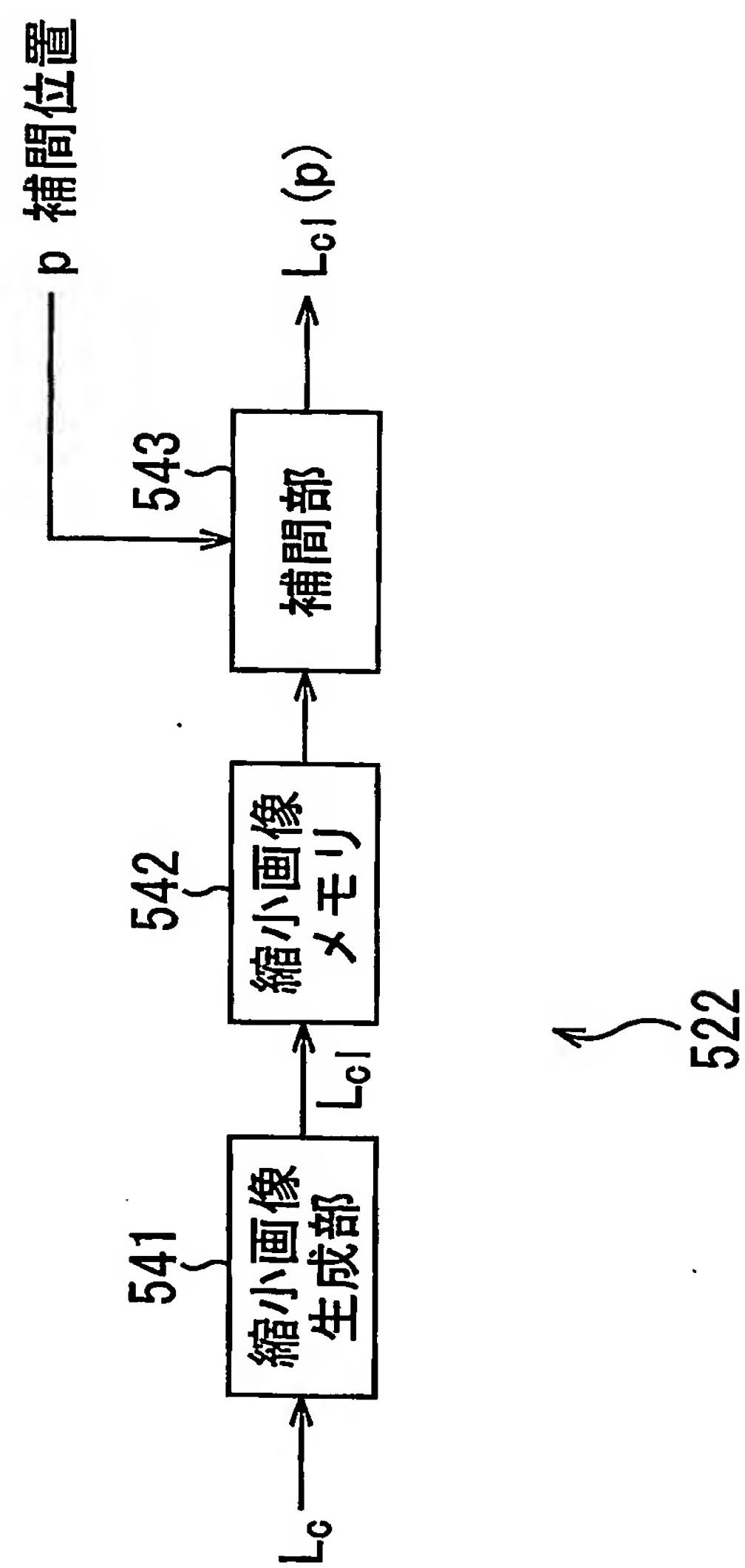


図36



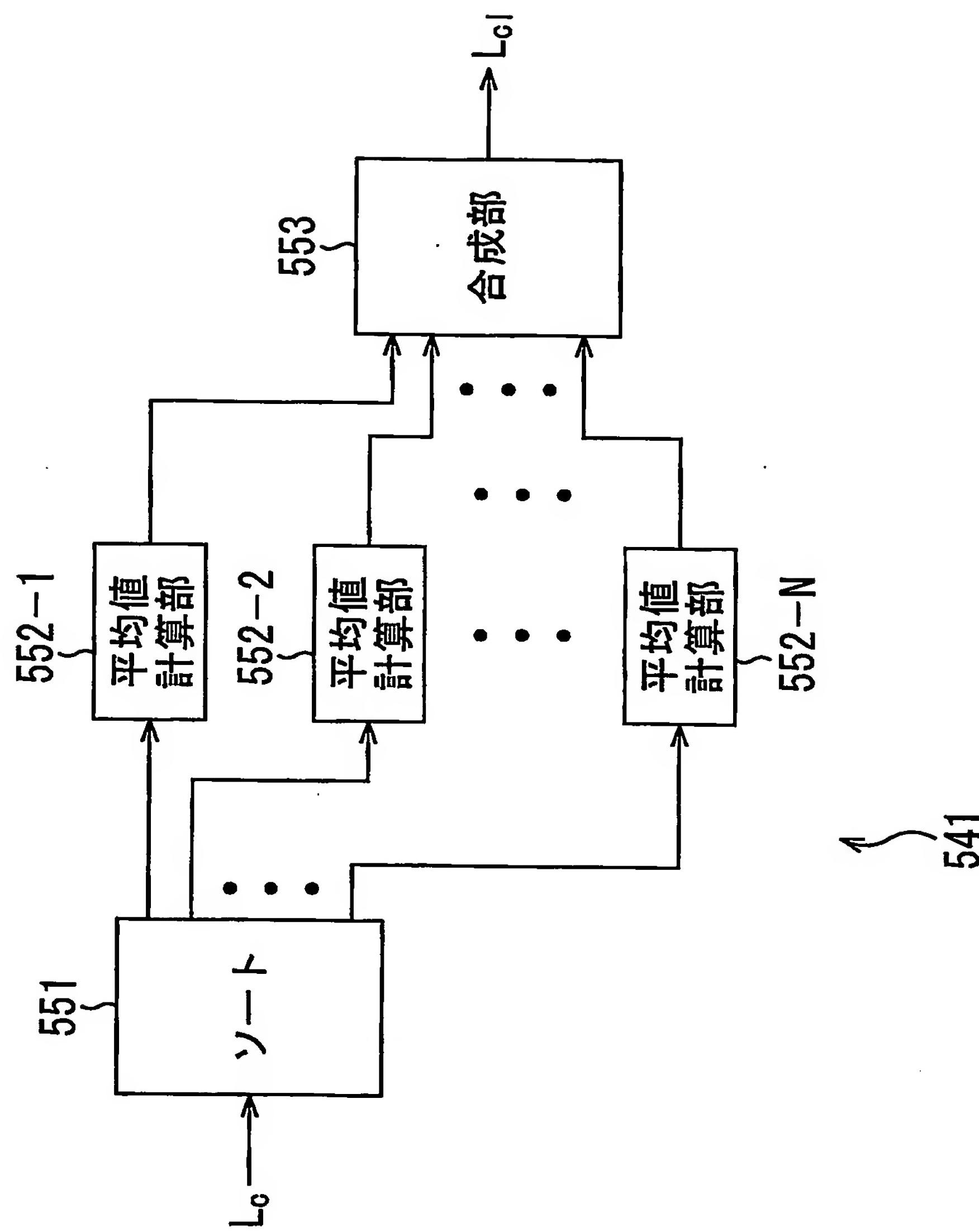
36 / 45

図37



37 / 45

図38



38/45

図39

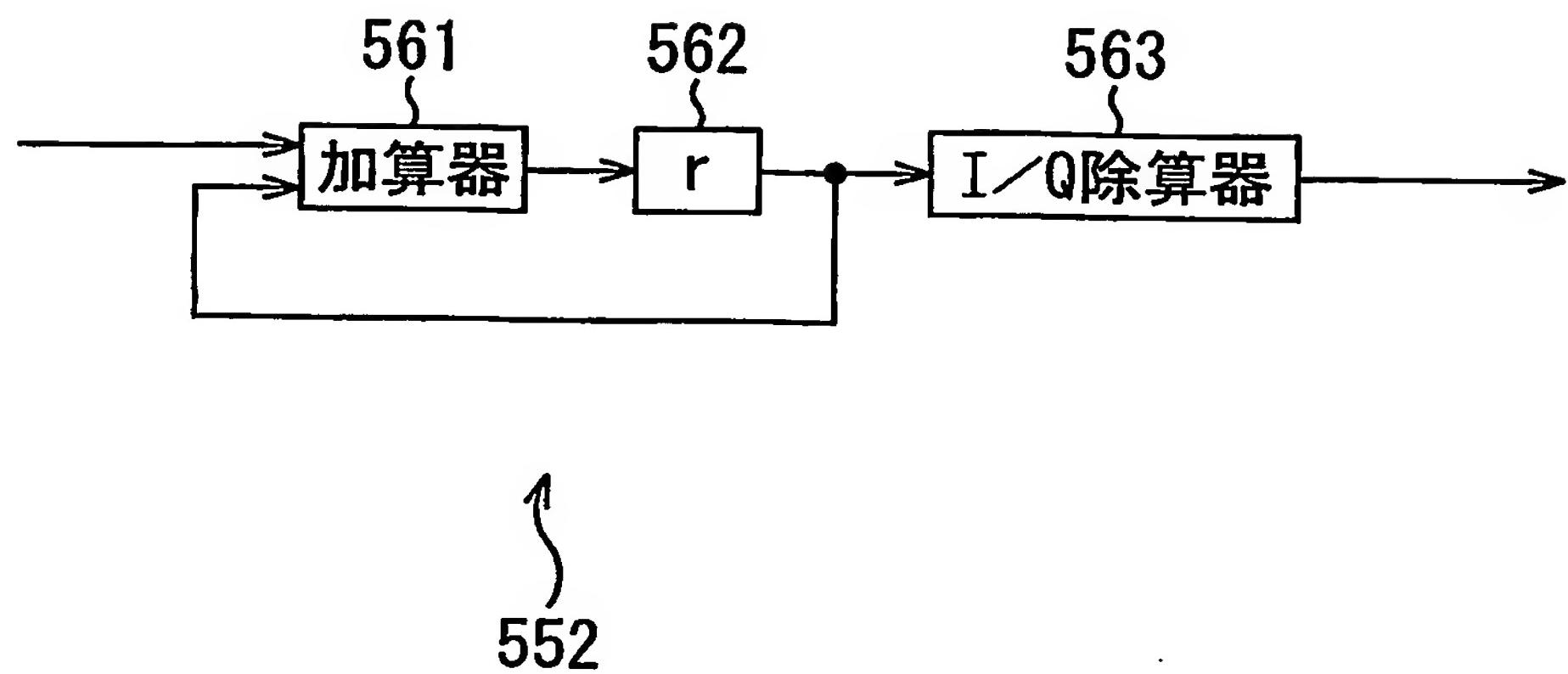
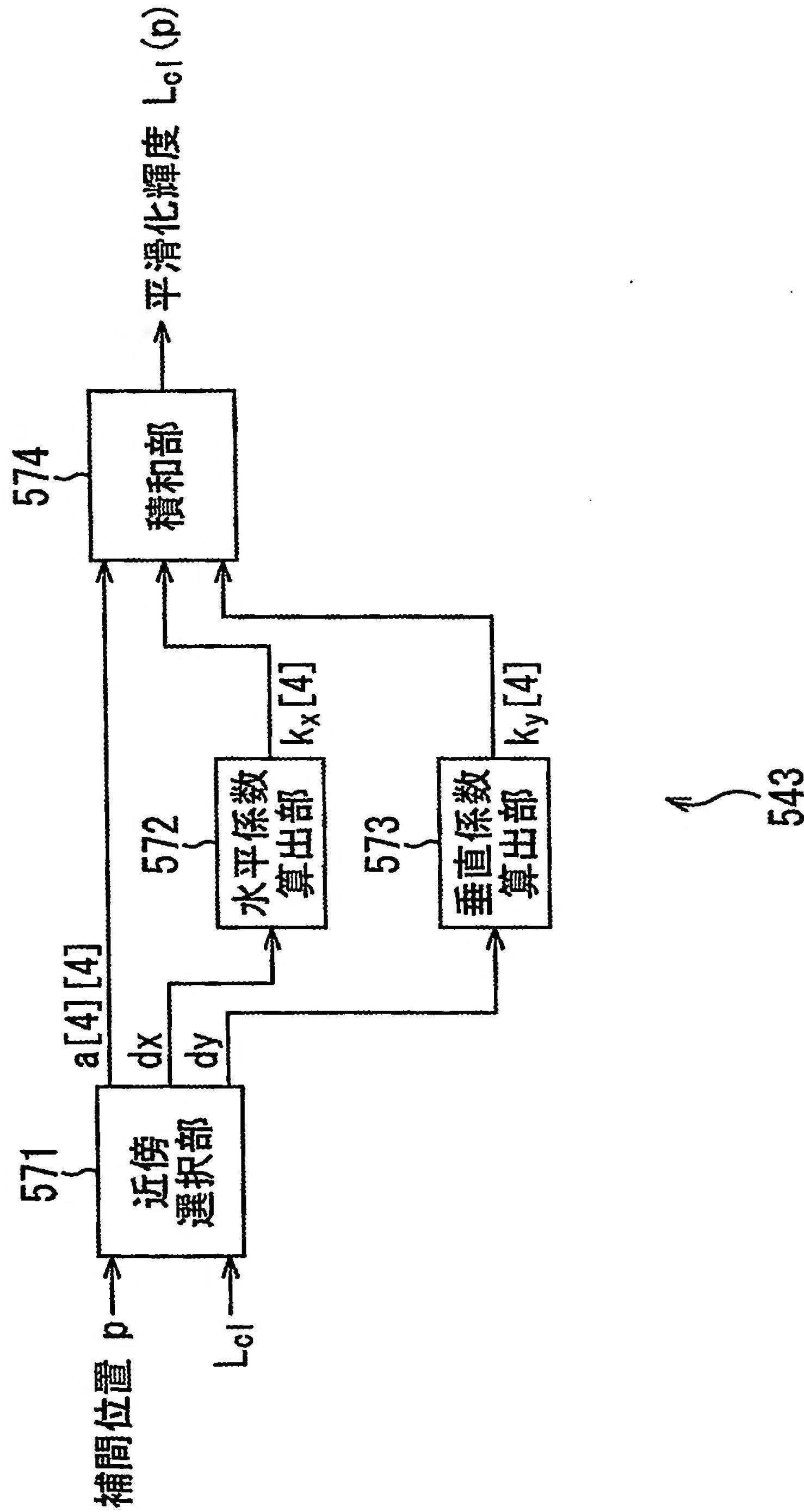
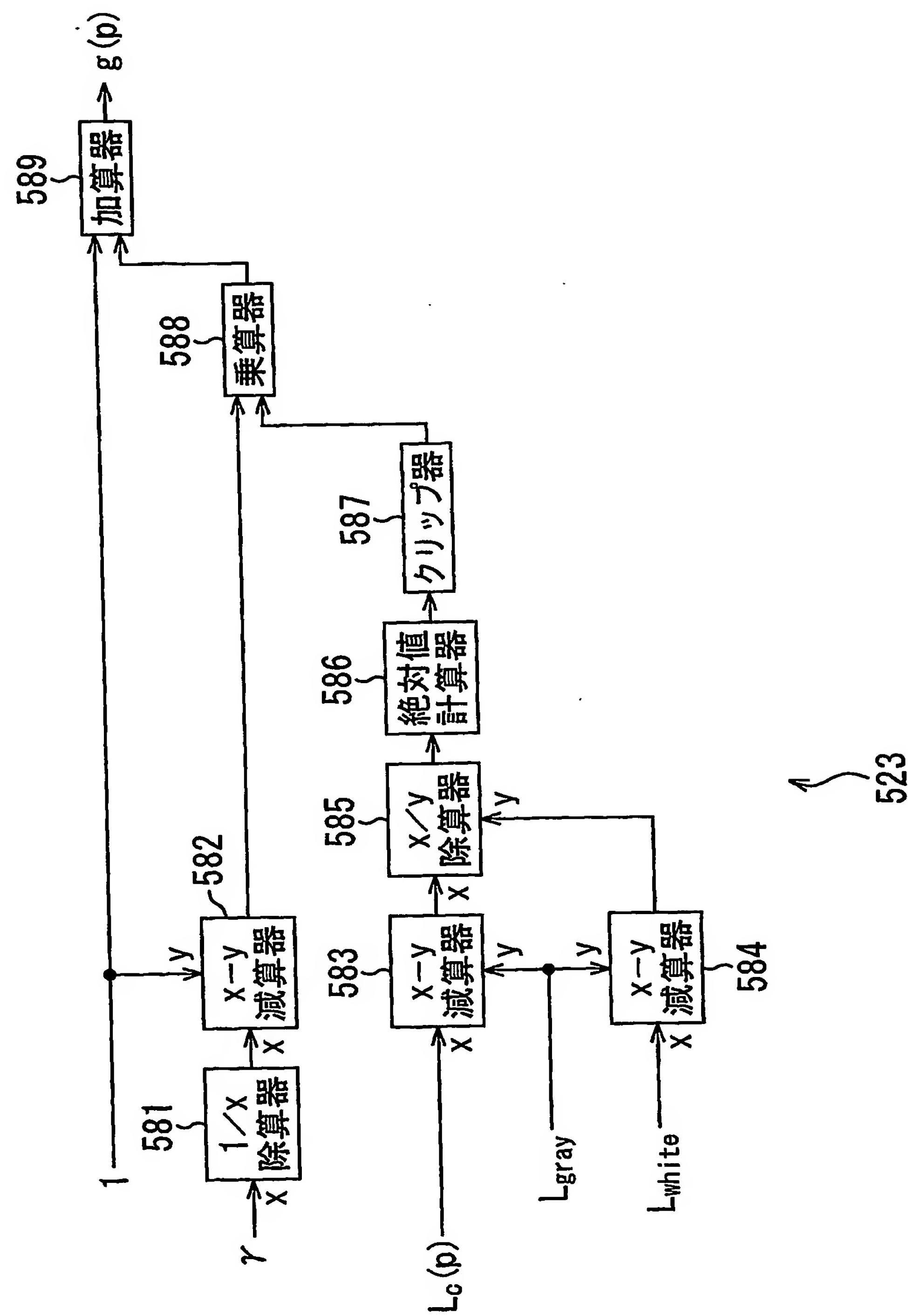


図40



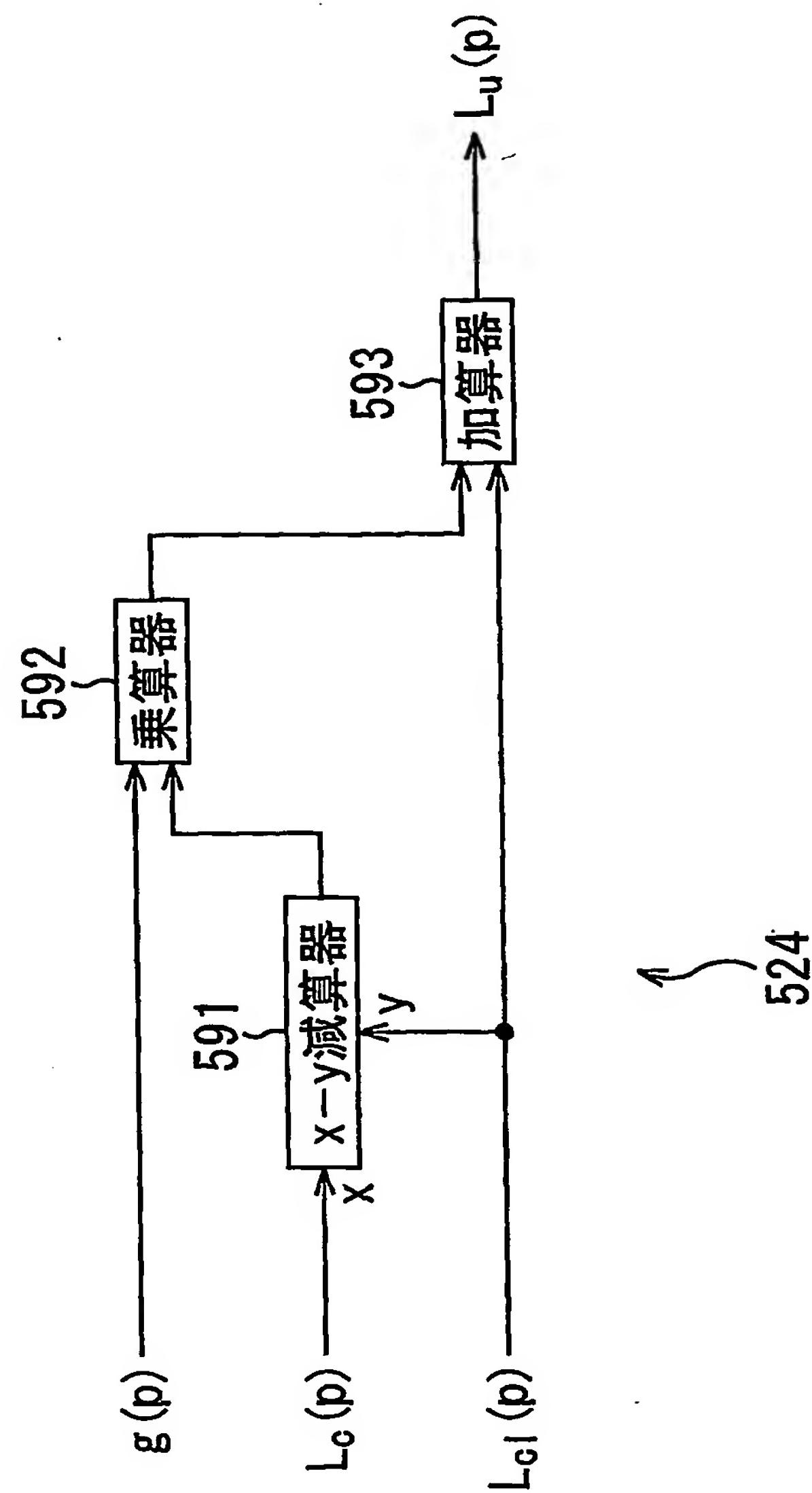
40 / 45

図41



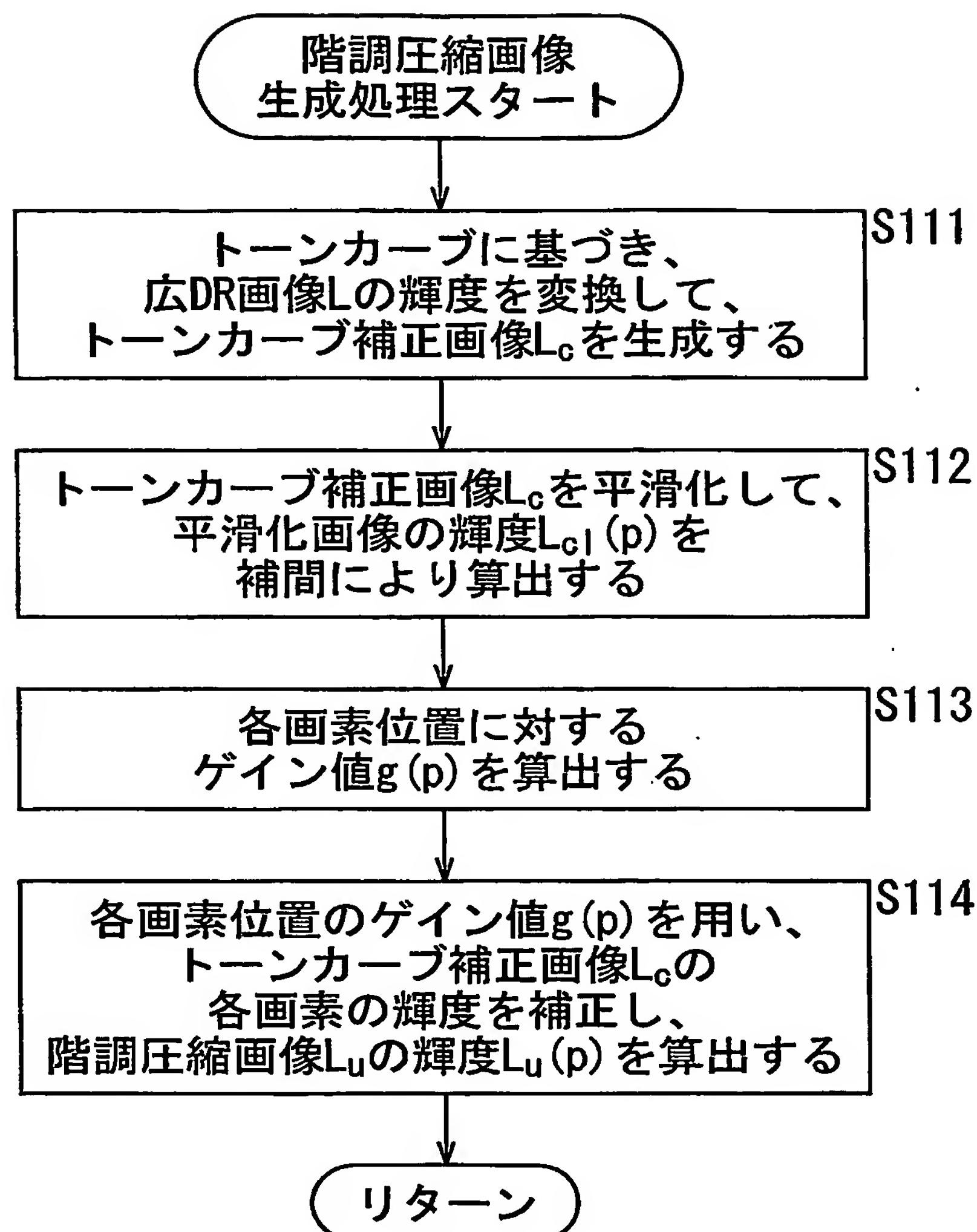
41 / 45

図42



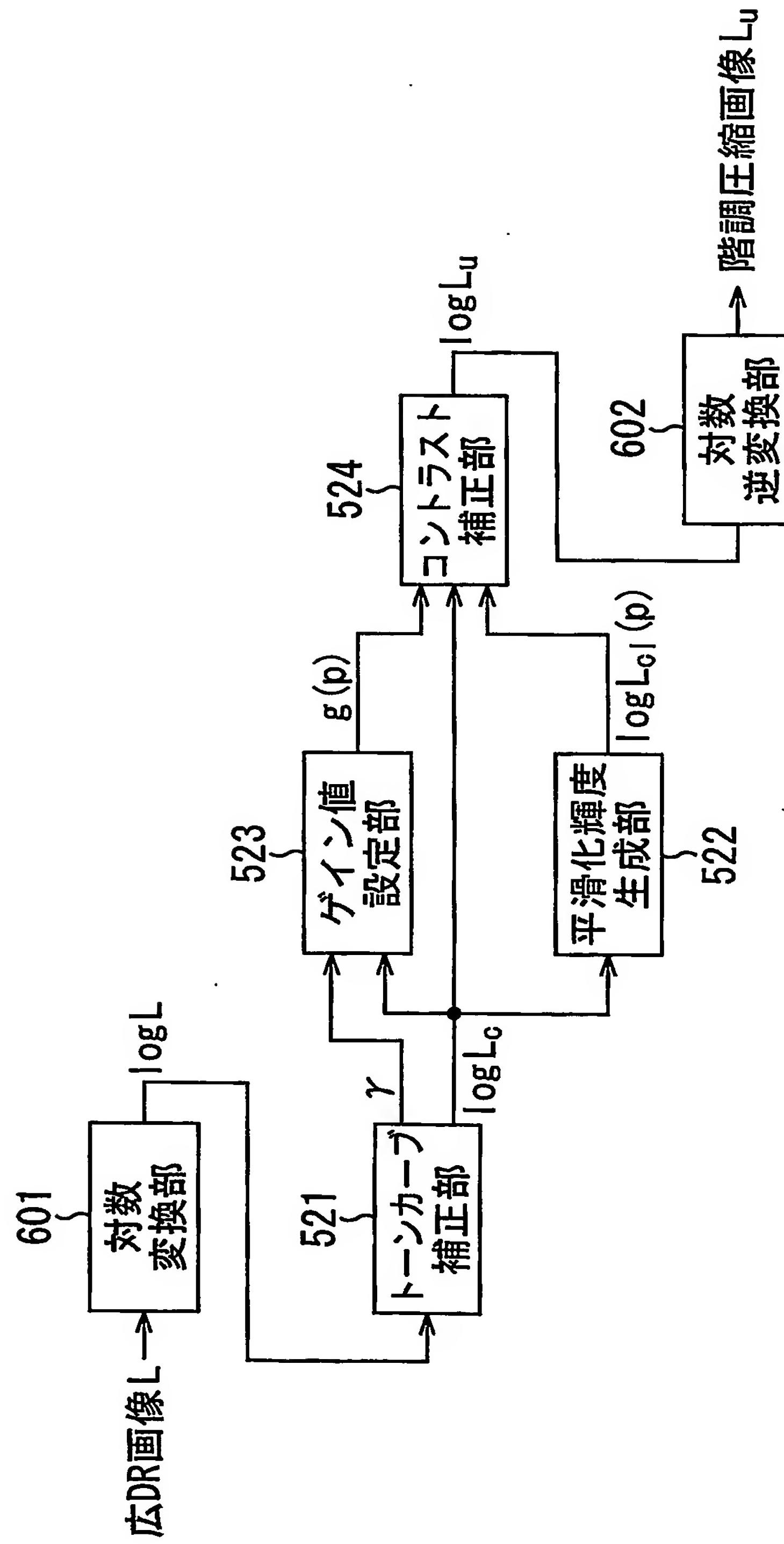
42/45

図43



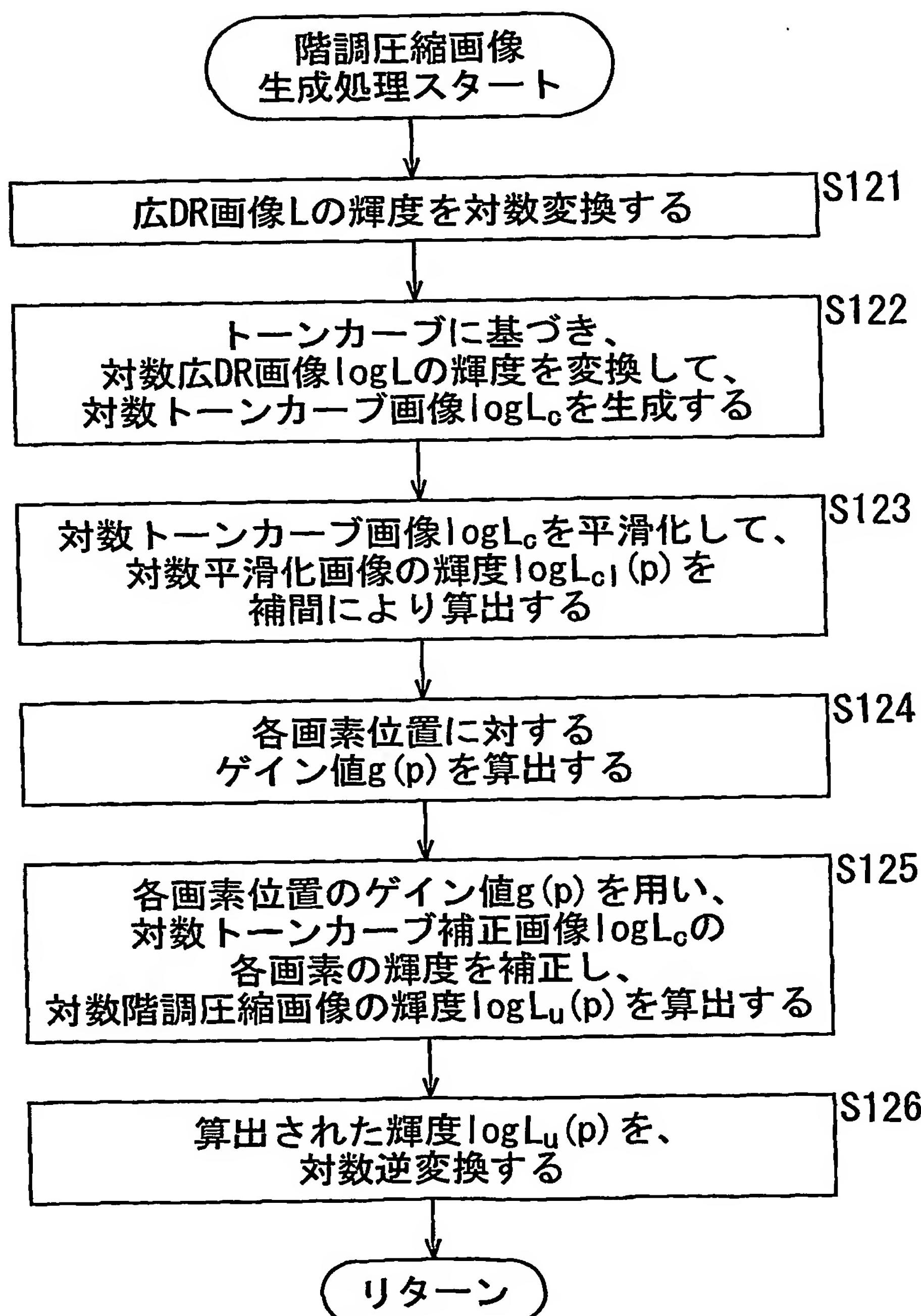
43 / 45

図44



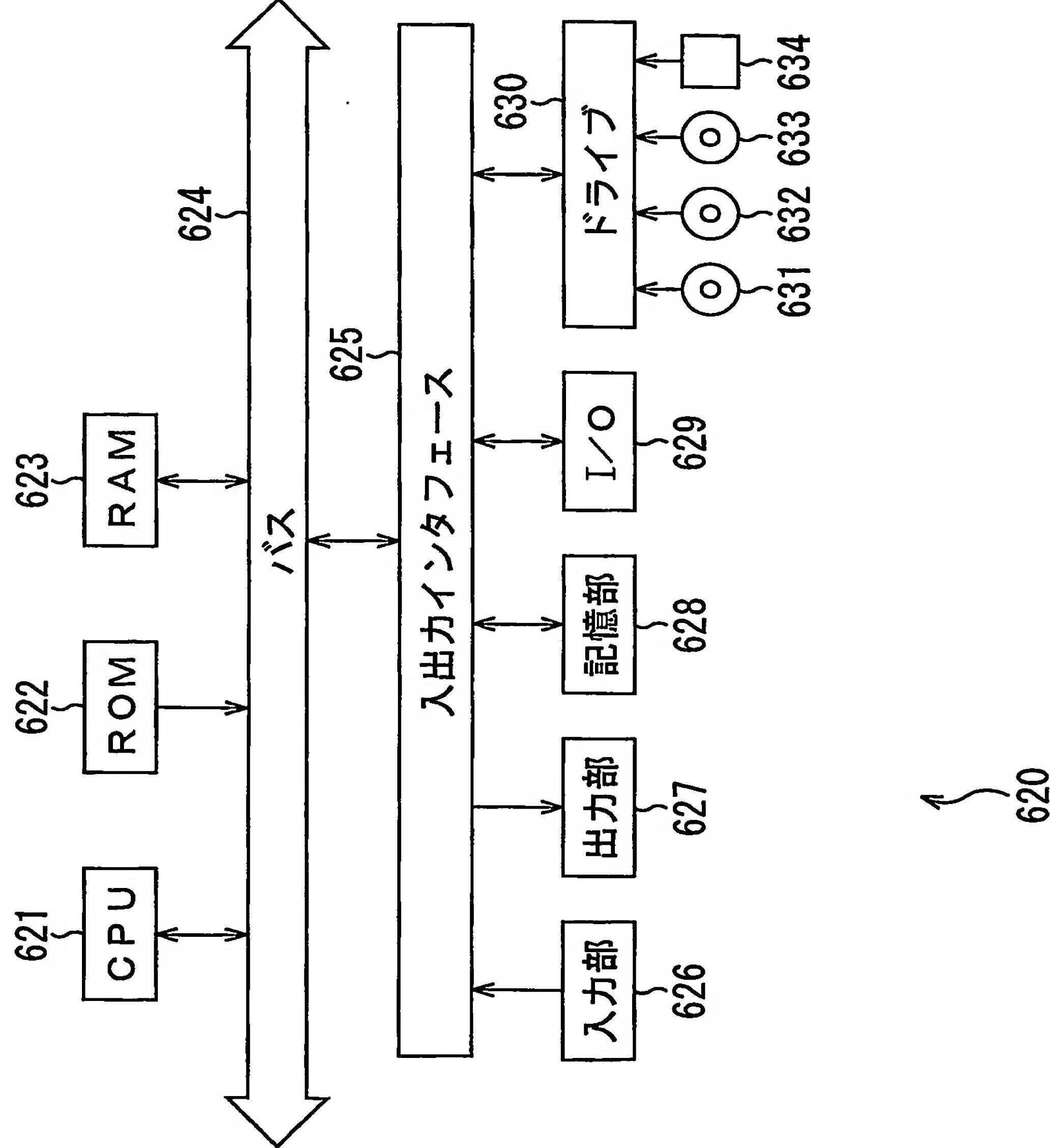
44/45

図45



45/45

図46



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15758

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H04N5/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04N5/20, 9/68, 1/40, G06T1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-238016 A (Minolta Co., Ltd.), 23 August, 2002 (23.08.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 6 3-5
Y	JP 2002-16939 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 18 January, 2002 (18.01.02), Par. No. [0040]; Fig. 2 & US 2002/8762 A	1, 2, 6
Y	JP 2002-269582 A (Namco Ltd.), 20 September, 2002 (20.09.02), Par. Nos. [0057] to [0062]; Fig. 4 (Family: none)	2

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"	document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search
05 March, 2004 (05.03.04)Date of mailing of the international search report
16 March, 2004 (16.03.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15758

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-218057 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 10 August, 2001 (10.08.01), Par. No. [0032]; Fig. 2 & US 2001/41018 A	2

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. C17 H04N5/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. C17 H04N5/20, 9/68, 1/40, G06T1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2002-238016 A (ミノルタ株式会社) 2002.08.23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 6 3-5
Y	JP 2002-16939 A (富士写真フィルム株式会社) 2002.01.18, 段落0040, 第2図 & US 200 2/8762 A	1, 2, 6
Y	JP 2002-269582 A (株式会社ナムコ) 2002.09.20, 段落0057-0062, 第4図 (ファミ リーなし)	2

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.03.2004

国際調査報告の発送日

16.3.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

佐藤 直樹

5P 9562



電話番号 03-3581-1101 内線 3581

C (続き) 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-218057 A (富士写真フィルム株式会社) 2001.08.10, 段落0032, 第2図 & US 200 1/41018 A	2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.